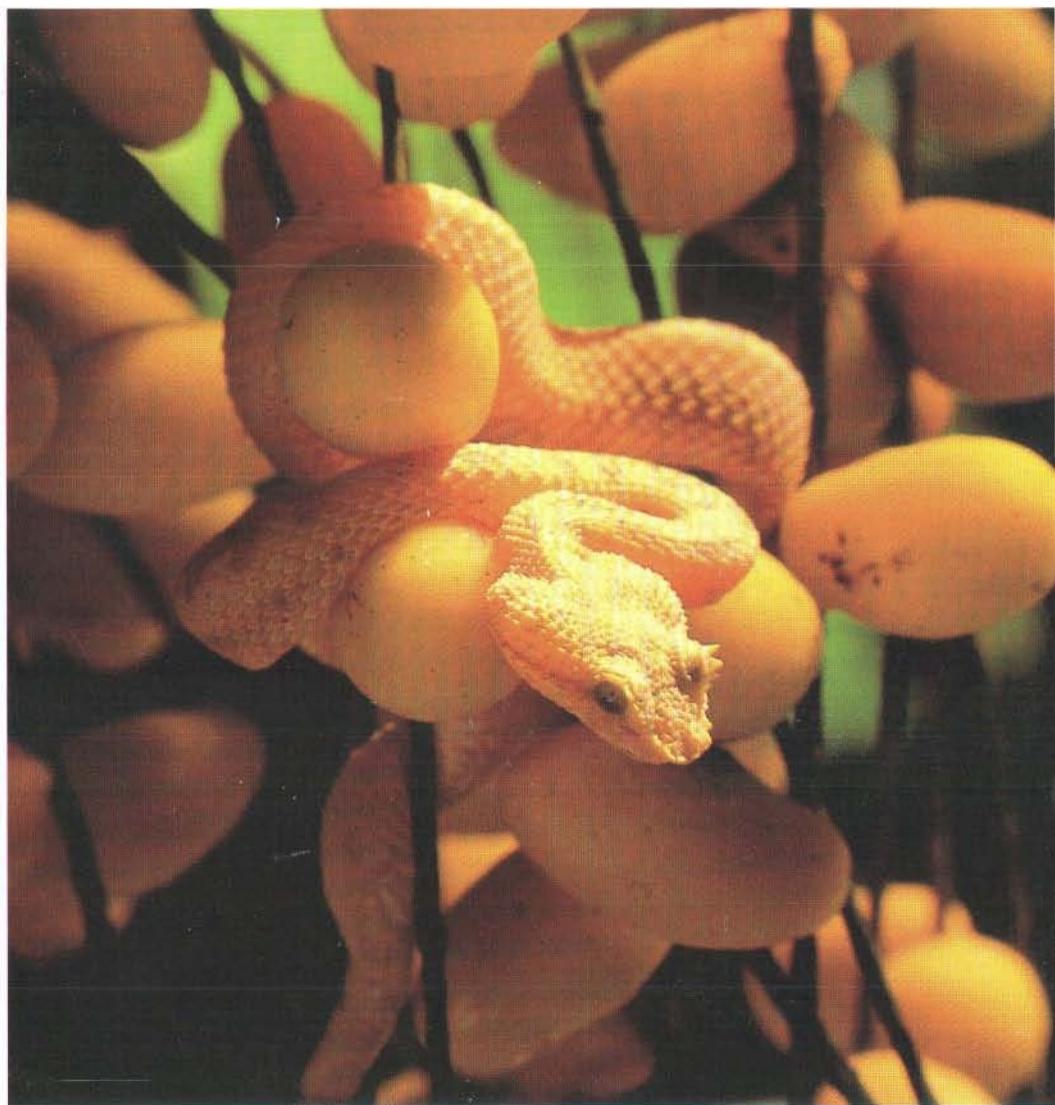


9

56^e jaargang

NATUUR '88 & TECHNIEK

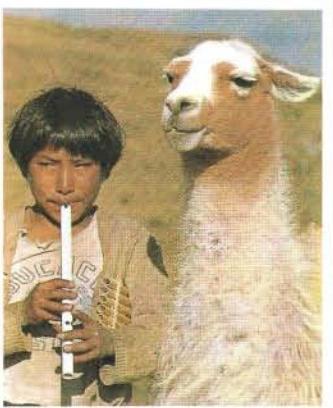
natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



**SLANGEGIF / GEBRUIKSSPORENONDERZOEK AAN VUURSTEEN /
NMR AAN CELPROCESSEN / SCHELPEN IN DE SAHEL / KORSTMOSSEN /
VAN PROPELLER TOT PROPFAN**

Van 13 t/m 31 december 1988

Nog eens naar **PERU**



M.B.-Excursies organiseert verder:

- 16 december 1988 t/m 1 januari 1989: Reis naar Jemen
- 21 januari t/m 11 februari 1989: Nostalgie-reis naar India (o.a. Kaziranga National Park)
- 31 januari t/m 13 februari 1989: Tanzania Volg-de-Grote-Trek reis.

Informatie bij Natuur & Techniek.

Deze zomer organiseerden Natuur & Techniek en de Stichting M.B.-Excursies een 26-dagse reis naar Peru (zie Natuur & Techniek januari 1988). De reacties op deze reis waren zo overstelpend en het enthousiasme van de deelnemers was zo groot, dat we er goed aan menen te doen deze reis te herhalen, in een verkorte versie: de **PERU-CLÁSICO**, van 13 t/m 31 december 1988.

De volledige **VIJF-ZONE REIS PERU**, zoals in het januarinummer van Natuur & Techniek beschreven, zal worden herhaald in juli en september 1989.

Aanmelding en informatie bij Natuur & Techniek, Postbus 415, 6200 AK Maastricht, telefoon 043-254044.

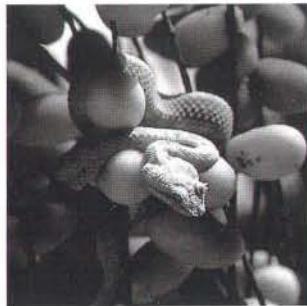
IBERIA
AIRLINES OF SPAIN

**STICHTING
MB EXCURSIES**

**NATUUR
& TECHNIEK**

NATUUR '88 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 10,00 of 200 F.



Bij de omslag

Schegels grijpstaartslang (*Bothrops schegelii*) is een slang die in Centraal- en Zuid-Amerika voorkomt en familie is van de Noordamerikaanse ratelslang. De beet is giftig, maar niet zo gevaarlijk als die van zijn Noordamerikaanse verwant. Wat een slangebeet kan aanrichten leest u op pag. 698-709.
(Foto: Michael Fogden/Bruce Coleman Ltd. Uxbridge).

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek.

Secretaris: R. van Eck.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Olde Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein, Drs C.F.M. de Roos, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israel, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verrejt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-1223*.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

EURO
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van



ISSN 0028-1093
Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL Omweg	697

SLANGEGIF	698
-----------	-----

A. Menez

De meeste mensen zijn bang voor slangen. Dat is terecht als we ons realiseren hoe snel slangegif kan werken. Van een beet kun je flink beroerd worden of zelfs doodgaan. Slangegiften blijken uit verschillende stoffen te bestaan. Meestal zijn het proteïnen die hun werking uitoefenen door te binden aan bepaalde receptoren in celmembranen en daardoor levensprocessen blokkeren. De studie van slangegiften is niet alleen belangrijk om goede antistoffen te vervaardigen, maar ook omdat we zo inzicht kunnen krijgen in de plaats en structuur van belangrijke receptoren.



DE GLANS VAN HET GEBRUIK	710
--------------------------	-----

Gebruikssporenonderzoek aan vuursteen

A.L. van Gijn

Gedurende het grootste deel van de prehistorie was vuursteen het belangrijkste materiaal voor het maken van werktuigen. Tot de introductie van metaal, ongeveer 4000 jaar geleden, waren er immers weinig andere materialen vorhanden. Een voor archeologen prettige bijkomstigheid is dat vuursteen vrijwel onvergankelijk is. Op vuurstenen voorwerpen zijn bovendien vaak de sporen van het vroegere gebruik terug te vinden. Door analyse van deze gebruikssporen kan men veel te weten komen over leven en gewoonten van prehistorische mensen.



VAN PROPELLER TOT PROPFAN	722
---------------------------	-----

Dertig jaar verkeersvliegtuigen

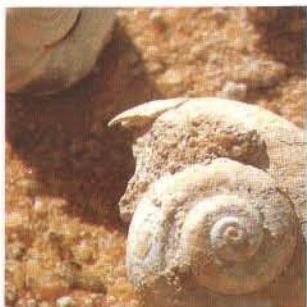
H. Wittenberg

Aan het eind van de jaren vijftig deed het straalverkeersvliegtuig zijn intrede in het luchtverkeer. Luchtreizigers konden zich daardoor sneller verplaatsen. De vliegtuigen werden ook groter, zodat meer passagiers vervoerd konden worden. Bij de ontwikkeling van nieuwe vliegtuigtypen speelt de voortstuwing een belangrijke rol. Nieuwere typen maken veel minder geluid en verbruiken relatief minder brandstof dan hun voorgangers. De voortstuwing vormt als het ware de rode draad door de recente luchtvaartgeschiedenis.



NATUUR'88 & TECHNIEK

september / 56^e jaargang/1988



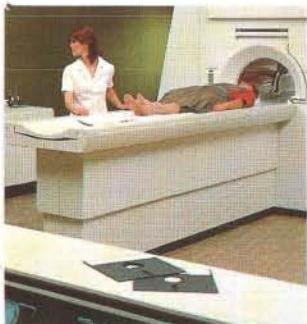
SCHELLEN IN DE SAHEL

Klimaatonderzoek in meerbodem

H.J.F. Dumont

De Sahel is berucht om de er heersende droogte en de hongersnoden die daar het gevolg van zijn. Geen plaats waar je brede rivierbeddingen, ophopingen van riviergrind en zoetwaterschelpen zou verwachten. Toch zijn die er volop. Zij bewijzen dat deze streek lang geleden een vochtig klimaat had, waardoor het land groen en vruchtbare was. Onderzoek van afzettingen op de bodem van meren kan hierover veel informatie verschaffen. In Sudan is men zo te weten gekomen hoe droog de Sahel vroeger was.

734



NMR AAN CELPROCESSEN

746

P.R. Luyten

Kernspinresonantie, of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) is voor chemici en fysici al jaren een onmisbaar hulpmiddel bij het vaststellen van moleculaire structuren. NMR als beeldvormende techniek, naast röntgenscanners en ultrasone apparatuur, is inmiddels al bekend. De laatste jaren staat echter ook de 'ouderwetse' NMR-spectroscopie sterk in de belangstelling van de medische wereld. Door de grote verbeteringen aan de apparatuur blijkt het mogelijk spectroscopie te bedrijven aan levende organismen. Stofwisselingsprocessen in het lichaam zijn nu 'van buiten af' te volgen zonder ze te verstören.



KORSTMOSSEN

758

Een gevoelige symbiose

W. Kruijt

Korstmossen zijn bekend als bio-indicator voor luchtverontreiniging. Waar de lucht te zeer verontreinigd is vinden we geen korstmossen. Ook na de ramp in Tsjernobyl waren zij in het nieuws. Doordat zij bepaalde elementen tot uitzonderlijk hoge concentraties te accumuleren, veroorzaakten zij – als hoofdvoedsel van rendieren – radioactieve besmetting van rendiervlees. Toch zijn er maar weinig mensen die enig idee hebben hoe korstmossen eruit zien, hoe zij zijn opgebouwd en welke betekenis zij in de loop der tijd voor de mens hebben gehad.

ANALYSE EN KATALYSE

768

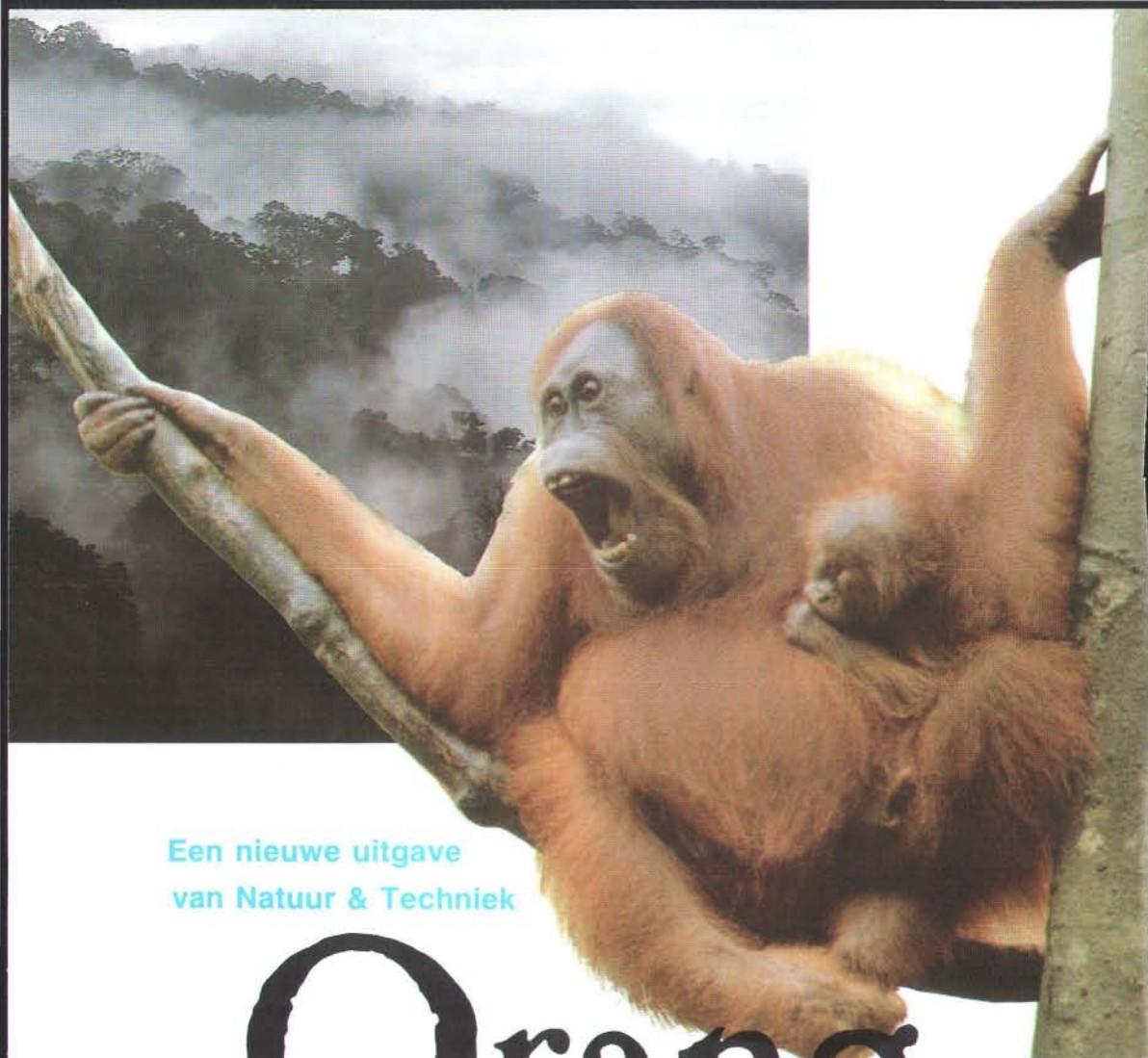
Spiegelbeelden/Aanval op de hartaanval

BEZIENSWAARDIG/BOEKEN/ACTUEEL

776

PRIJSVRAAG/TESTVRAGEN

782



Een nieuwe uitgave
van Natuur & Techniek



Orang oetans

De laatste bosmensen?

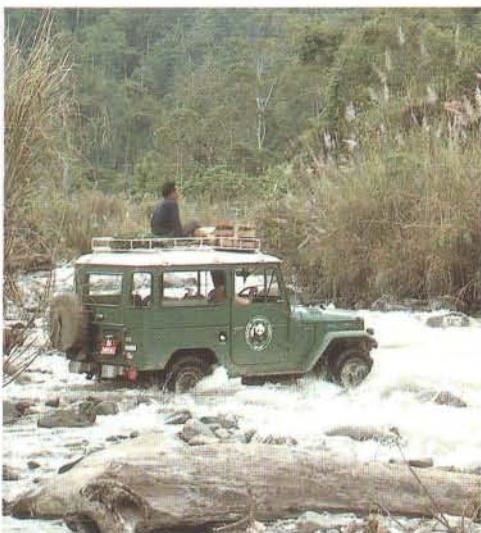
Wie is de raadselachtige roodharige 'bosmens'? Een ruige, wilde mensachtige die vrouwen rooft, zeiden 17e eeuwse Europese reizigers in Sumatra. Een mensaap, die door zijn lichaamsbouw en gedrag dicht bij de mens staat, zeggen hedendaagse onderzoekers.

Onder: Op verkenning in het onderzoeksgebied.

Geheel onder: Orang oetans kunnen zich met behulp van hun armen snel

door de bomen voortbewegen ("brachiëren").

Rechts: Het tropische regenwoud is rijk aan kleurige levensvormen.



Verwantschap en concurrentie kenmerken de zeer oude relatie tussen orang oetan en mens. Een relatie die centraal staat in het door het Wereld Natuur Fonds gesteunde onderzoek dat dr. Herman Rijksen en zijn vrouw Ans Rijksen verrichtten onder de laatste in het wild levende orang oetans in Sumatra.

Aan dit onderzoek hebben wij een schitterend geillustreerde uitgave gewijd, gebonden in een linnen band met stofomslag, 208 pagina's tellend en van een luxe formaat.

Wij stellen dit boek graag aan onze abonnees ter beschikking als PREMIEBOEK 1988, tegen de speciale prijs van f 49,75 of 955 F, exclusief verzendkosten (normale prijs f 69,50 of 1335 F).

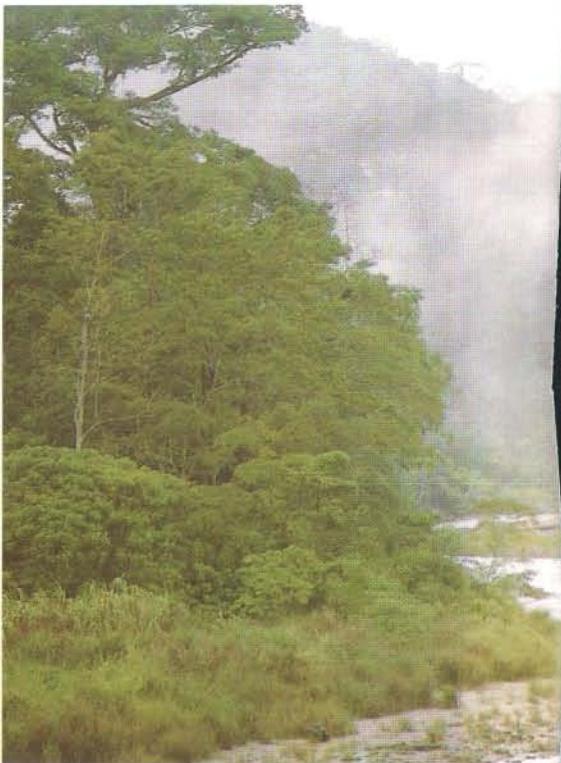
U kunt het boek bestellen m.b.v. de in dit nummer gehechte kaart. Na ontvangst van uw kaart zenden wij u het boek binnen 14 dagen toe.

(Ook verkrijgbaar via de erkende boekhandel.)

Rechts: De Ketambe, omzoomd door een dichte wand van groen.
Rechtsonder: Rode wants.
Geheel rechts: Houtkap is een ernstige bedreiging van het leefgebied van de orang oetans.

Het regenwoud

Het natuurreservaat Gunung Leuser op Noord-Sumatra, waar het onderzoek van de Rijksens plaatsvond, omvat een bijna één miljoen hectaren groot stuk regenwoud. Wurgvijgen, doerianbomen, varens, lianen en vele andere soorten bomen en planten stofferend er de vallei van de Alas, waar de orang oetans leven. De regen, onontbeerlijk voor dit uiterst rijke ecosysteem, valt overvloedig: meer dan 3 meter per jaar. In deze vochtige, warme atmosfeer veroveren planten en bomen groeiend, klimmend en slingerend hun plaatsje in het licht, voedsel en woonplaats biedend aan een grote verscheidenheid van dieren.

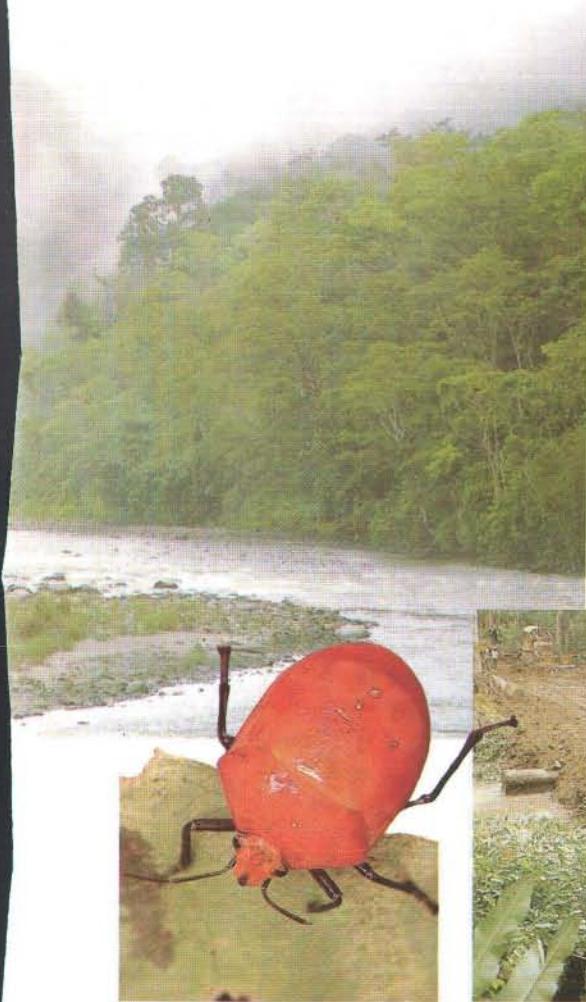


Mawas!

Orang oetans zijn schuw en weten zich ondanks hun respectabele omvang en gewicht geruisloos te verplaatsen. Zelfs met een goede lokale gids en de nodige ervaring is het moeilijk met deze dieren in contact te komen. Het onderzoeksteam heeft dan ook aanvankelijk vele vergeefse speurtochten ondernomen. Groot was de opwinding toen de gids na enkele maanden voor het eerst "Mawas!" (Maleis voor orang oetan) fluisterde. Dat was in het gebied Ketambe, dat daarna tot onderzoeksgebied werd gekozen. Later bleek dat ruim 20 orang oetans hier hun min of meer vaste verblijfplaats hadden.

Links: De adolescentieperiode is de meest sociale levensfase van de orang oetans. Jonge dieren trekken in groepen rond.
Rechts: De bloem van de Rafflesia heeft een doorsnede van bijna een meter en verspreidt de geur van rottend vlees.





Orang oetans onder elkaar

Hoewel orang oetans op veel punten dezelfde leefwijze hebben als andere grote mensapen, zijn er een paar opvallende verschillen. Ondanks zijn gewicht is de orang oetan een boombewoner en hij leeft veel minder sociaal dan bijvoorbeeld de chimpansee.

Toch is er wel degelijk sprake van sociaal gedrag. Met vele sprekende en soms ontroerende voorbeelden beschrijven de auteurs de onderlinge verhoudingen van de orang oetans, hun levenscyclus en hun relatie met de omgeving. Ook al leven orang oetans niet in zulke hechte groepen, ze staan op afstand duidelijk in contact met elkaar. Gecombineerd met het leven in bomen vormt dit losse verband waarschijnlijk een verdediging tegen een geduchte erfvijand....

Orang oetans en de anderen

Mensen zowel als mensapen staan vijandig tegenover wezens die op hen lijken maar niet tot hun groep behoren. Natuurlijk hebben orang oetans ook andere vijanden, zoals de tijger, die weleens een oude, minder vlugge orang oetan grijpt, of de nevelpanter die in Ketambe nog niet aangepaste orang oetans uit het rehabilitatie-station buitmaakte. De vijandschap tussen primaten is echter van een andere orde. Waarom jagen chimpansees op colobus-apen zonder dat ze behoeft aan vlees hebben? Waarom beschouwen Afrikaanse stammen apescheldels als een belangrijke trofee, evenals de Borneose Dajaks de gesnelde koppen van andere stammen? Onderzoek doet vermoeden dat tussen mensen en orang oetans op Sumatra al duizenden jaren een diepgewortelde rivaliteit bestaat, die niet alleen op voedselconcurrentie is gebaseerd en die vooral van de mensen uitgaat.



De laatste fase van de strijd?

Toen het regenwoud op Sumatra nog groter was en het aantal mensen geringer en minder goed voor de jacht toegerust, kon de orang oetan zich handhaven door zijn bijzondere manier van leven. Sinds mensen zich echter op steeds geraffineerdere wijze aan de orang oetans vergrijpen en letterlijk de bomen onder hen wegkappen, is de strijd wel bijzonder ongelijk geworden. De overlevingskansen van de orang oetans liggen nu volledig in de handen van de mensen. Het is te hopen – zo schrijft Prins Bernhard in zijn voorwoord – dat de vereende pogingen om het leefgebied te beschermen steeds doeltreffender worden, zodat de roodharige mensaap, en met hem vele andere diersoorten in het regenwoud, kan overleven, in harmonie met de mens.

Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij

Voedsel- conservering

Het gebruik van straling als middel om voedsel te conserveren en ziektekeimmen te elimineren, staat de laatste tijd weer volop in de belangstelling. Met het steeds vaker voorkomen van voedselvergiftigingen, zijn maatregelen dringend geboden. Wat zijn de voor- en nadelen van doorstraling en hoe denken betrokkenen als consumentenorganisaties, de voedingsmiddelenindustrie en de overheid erover?

Een greep uit de inhoud:

Voedselconservering

H. Labots

Besmetting van ons voedsel

H.J. Beckers

Toelatingsbeleid in Nederland

R.M. Ullmann

Voedseldoosstraling in mondiale perspectief

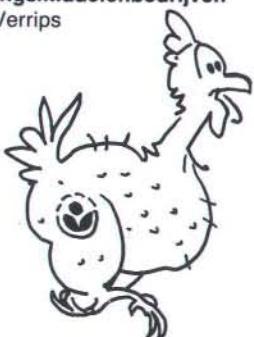
J. Farkas

Consumentenbond: alert blijven

G.J.P. Huis in 't Veld

Toepassing door voedingsmiddelenbedrijven

C.T. Verrips



Het cahier VOEDSELCONSERVING kan besteld worden bij Natuur en Techniek, Postbus 415, 6200 AK Maastricht, tel. 043-254044, vanuit België: 00-3143254044. Het kost f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

Dr. A. Menez ('Slangegif') is hoofd van het laboratorium voor de bestudering van toxinen van de afdeling biologie van het Franse Commissariaat voor Atoomenergie in Saclay, even buiten Parijs.

Drs A.L. van Gijn ('Vuursteen') is geboren in Amsterdam op 12 maart 1956. Zij studeerde prehistorie van Nederland aan de Rijksuniversiteit in Groningen van 1974 tot 1983. Sinds 1986 is zij universitair docent bij het Instituut voor Prehistorie van de Rijksuniversiteit Leiden.

Prof ir H. Wittenberg ('Propeller') is op 11 december 1925 geboren in 's-Gravenhage. Hij studeerde vliegtuigbouwkunde aan de TH in Delft, waar hij in 1950 als wetenschappelijk medewerker in dienst trad. In 1961 werd hij aldaar benoemd tot hoogleraar lucht- en ruimtevaarttechniek.

Prof dr H.J.F. Dumont ('Klimaatonderzoek') is geboren in Derdeleeuw op 8 februari 1942. Hij studeerde biologie aan de Rijksuniversiteit Gent en promoveerde aldaar in 1968. In 1987 werd hij benoemd tot hoogleraar in de ecologie der dieren, biogeografie en natuurbehoud aan de Gentse universiteit.

Dr P.R. Luyten ('NMR') is op 4 juni 1954 in 's-Gravenhage geboren. Hij studeerde fysische chemie aan de Vrije Universiteit in Amsterdam, waar hij in 1984 promoveerde. Sindsdien is hij werkzaam als researchmedewerker magnetische resonantie bij Philips Medical Systems in Best.

Dr W. Kruyt ('Korstmossen') is op 7 februari 1912 in Garoet op Java geboren. Hij studeerde biologie aan de Rijksuniversiteit te Leiden van 1930 tot 1937. Van 1946 tot 1977 was hij hoofd van de biologische afdeling bij ACF-Chemiefarma te Maarssen. Hij promoveerde in 1954.

Omweg

Menez heeft natuurlijk gelijk als hij zijn artikel op pag. 698 begint met de zinsnede 'De meeste mensen zijn bang voor slangen'. Toch zullen er maar weinig mensen zijn die op een wandeling in Achterhoek, Ardennen of Ardèche voortdurend op hun hoede zijn voor adders. In enkele andere streken ligt dat natuurlijk wel wat anders. In de Amerikaanse woestijnen is een ontmoeting met een ratelslang nog bepaald niet denkbeeldig, en zo zijn er nog andere landen (en zeeën) waar de stille doders niet als curiosum, maar als gevaarlijk deel van de menselijke omgeving voorkomen. Toch behoort bij ons weten nergens ter wereld de slangeneet tot de belangrijkste doodsoorzaken.

Zou men het in genoemd artikel beschreven onderzoek volgens de (politieke) mode beoordelen op direct maatschappelijk nut, dan zou al snel de slotsom volgen, dat er waarachtig wel onderzoek te bedenken valt waar de samenleving meer aan heeft.

En dan zou dat oordeel een regelrechte blunder zijn. Als we even de ogen sluiten voor een aanzienlijke filosofische discussie, kunnen we stellen dat er voor wetenschappelijk onderzoek een reëel bestaand object nodig is, waaraan gemeten kan worden. Eerst als er aan een of meer specifieke, dat wil zeggen van andere objecten te onderscheiden, echt bestaande objecten metingen zijn gedaan, kan de meer algemene, voor alle objecten in een bepaalde categorie geldende, theorie worden uitgebouwd en verbeterd.

Theorievorming over 'het' atoom vergt onderzoek aan een aantal echte atomen, kennis over het virus kan slechts worden opgebouwd als er een aantal virussen naar dat kennisaspect is onderzocht.

Er bestaat een algemene theorie over de werking van een aantal groepen schadelijke stoffen in het lichaam en over de manier waarop het verdedigingsapparaat van het lichaam en geneesmiddelen verweer tegen die stoffen mogelijk maken. Die theorie is voldoende om onderzoek te richten naar de witte plekken die er nog in zitten.

Eén zo'n witte plek geldt de vraag hoe het nu allemaal precies op het niveau van het molekuul werkt, hoe bijvoorbeeld twee schadelijke stoffen overeen moeten komen, hoeveel ze kunnen verschillen om toch eenzelfde uitwerking te hebben. En omgekeerd: hoe groot de verschillen zijn tussen schadelijke molekülen die nog door één soort antistof kunnen worden aangepakt.

Kennis daarvan is natuurlijk niet alleen van belang voor de bestrijding van de gevolgen van de toevallig onderzochte schadelijke stoffen, maar voor inzicht in het lichamelijke immuunsysteem in het algemeen en in de mogelijkheden voor talloze nieuwe geneesmiddelen.

Wetenschappelijk onderzoek moet worden beoordeeld op basis van de kennis die het oplevert en hooguit pas in tweede instantie op de bijdrage die het geeft aan de oplossing van maatschappelijke problemen of op het geld dat ermee te verdienen valt.

SLANGEGIF



De meeste mensen zijn bang voor slangen. Dat is terecht, als we ons realiseren hoe snel slangegif kan werken. Van een beet kun je flink beroerd worden, of er zelfs dood aan gaan. Hoe dat gebeurt is niet precies bekend. Slangegiften blijken

uit verschillende stoffen te bestaan. Meestal zijn het proteïnen die hun werking uitoefenen door te binden aan bepaalde receptoren in celmembranen en daardoor levensprocessen blokkeren.

De studie van slangegiften is niet

Naja nigricollis, de zwarthalscobra, is een in Afrika levende cobrasoort. Hier zien we een exemplaar in de dreighouding terwijl hij gif spuwt. Het gif van deze soort heeft na een beet een verlammende werking en verstoort functies van de celmembranen van het slachtoffer. Het zijn meest mengsels van enzymen die de giftige werking veroorzaken. Eén van de enzymen uit het gif van *Naja nigricollis*, een verlammend toxine, is uitgebreid onderzocht op het laboratorium van de auteur van dit artikel.

Euro
ARTIKEL



alleen belangrijk om goede anti-stoffen te kunnen vervaardigen; de giften zijn ook van belang omdat ze ons op molekulair niveau inzicht kunnen verschaffen in plaats en structuur van belangrijke receptoren.

A. Menez

Commissariat de l'énergie atomique
Saclay

Gifslangen hebben een specialisme in huis waardoor ze zich ondanks allerlei lichamelijke nadelen toch goed weten te handhaven op het slagveld van ecologie en evolutie. Slangen horen niets, ze hebben geen poten om een prooi mee vast te pakken, maar toch eten ze nooit plantaardig voedsel. Hun uitstekende reukzin-tuig, hun vermogen om zeer snel te bewegen en het gif geven een gifslang kennelijk voldoende armsglag om te overleven. Mocht de buit een tijdlang tegenvallen, dan is dat meestal nog geen ramp. Slangen schijnen zeer lang zonder voedsel te kunnen; de grootste soorten wel een jaar, waardoor ze ongunstige weersomstandigheden of seizoenen weten te overbruggen.

Slangegif heeft twee functies. De prooi raakt ervan verlamd en het slachtoffer begint al te verteren voor hij in het maagdarmkanaal van de slang zit. Veel gifslangen bijten hun prooi in een flitsend snelle aanval, een betere uitdrukking is misschien dat ze steken, met twee holle tanden waar gifkanaaltjes in zitten. Daarna laten ze het slachtoffer met rust, tot hun toekomstige maal is verlamd of zelfs is overleden door het toegediende gif. Het reukorgaan van de slang zorgt er dan voor dat ze het aangevallen dier kan terugvinden, waarna de maaltijd kan beginnen. Een prooi die met gif behandeld is, passeert het maagdarmkanaal aanmerkelijk sneller dan een prooi die gegeten is door een slang waarvan de giftvoer naar de tanden was afgebonden.

Het bovenstaande scenario van een aanval door een gifslang is niet voor alle gifslangen van toepassing, en uiteraard helemaal niet

voor slangen in het algemeen, want slechts een derde van de ongeveer 2500 bekende soorten slangen zijn gifslangen.

Enzymatische giften

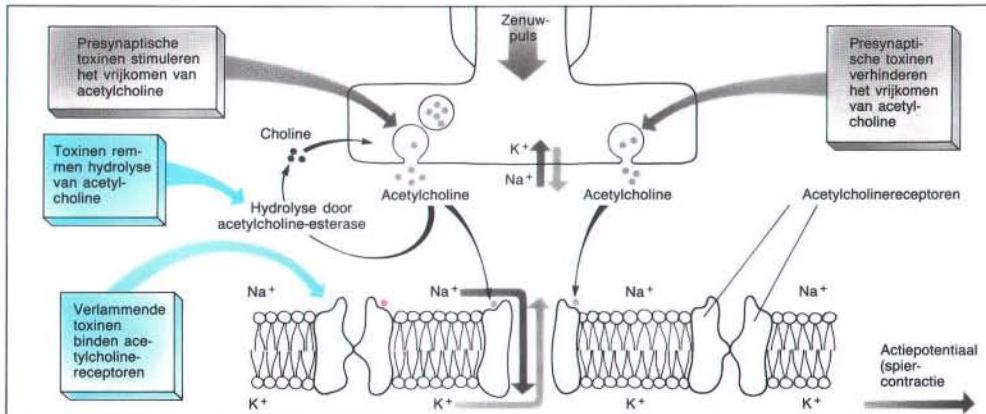
Gezien de functies van het slangegif, verlammen en verteren van prooidieren, zal het niet verbazen dat er enzymen in het gif zijn agetroffen. Dit was overigens pas het geval na een eeuwenlange speurtocht naar de oorzaak van de giftigheid, die werd bemoeilijkt door het feit dat verschillende slangesoorten gif van verschillende samenstelling hebben.

Het gif van leden van de families der *Crotidae* en *Viperidae* bevat enzymen die proteïnen denatureren en membranen afbreken, ze veroorzaken daardoor weefselaftsterving en verstoring van de bloedstolling. Momenteel zijn 26 enzymen met die werking bekend in het gif van vier grote families giftige slangen.

De verlammende werking van veel slange-toxinen wordt veroorzaakt door stoffen die aangrijpen op de zenuwen of de skeletspieren. Vooral de *neuromusculaire synaps*, het contactpunt tussen zenuw en spier moet het hierbij dikwijls ontgaan.

Gecontroleerde spiercontractie vindt plaats nadat een zenuwimpuls vanuit het centraal zenuwstelsel daartoe opdracht heeft gegeven. Wanneer de prikkel arriveert bij de *synaps*, het zenuwuiteinde, wordt daarin de transmitter *acetylcholine* vrijgemaakt. Deze stof verspreidt zich en hecht op de membranen van de spiercellen aan de daar aanwezige *acetylcholinere-*

1





2

1. Een schema van de gebeurtenissen in een zenuwuiteinde als daar een prikkel arriveert. Acetylcholine wordt vrijgemaakt, verspreidt zich, en hecht aan acetylcholinereceptoren op de celmembranen van spiercellen. Het membraan depolariseert dan doordat zich kanaaltjes openen waardoor natrium- en kaliumionen naar de andere kant van het membraan kunnen stromen. Die depolarisatie is de prikkel die de spier doet samentrekken. In het schema is op verschillende plaatsen aangegeven waar toxinen uit slangegif dit proces kunnen verstören.

2. Deze mangoest voelt zich niet lekker in de buurt van de cobra die daar anders over denkt.

ceptoren. Een daardoor geïnduceerd ladingsverschil over het membraan veroorzaakt vervolgens samentrekking van de spiercel. Een groot aantal slangegiften grijpt op dit systeem aan, maar op veel verschillende manieren.

Onderzoekers onderscheiden op grond van hun werking momenteel vijf hoofdgroepen van toxinen uit slangegif. De eerste groep omvat verlammende toxinen die binden aan de acetylcholinereceptoren, echter zonder daar mee spiercontractie te veroorzaken. Ze gaan dus wel op de plaats van acetylcholine zitten, maar nemen niet de functie over, zodat de spier niet meer op prikkels uit het centraal zenuwstelsel reageert en verslapt is. De dood van

het slachtoffer treedt meestal in doordat de ademhalingsspieren tot niets meer in staat zijn. Deze toxinen komen alleen voor in het gif van de Elapidae en de Hydrophiidae.

De toxinen van de tweede groep verhinderen de afscheiding van acetylcholine, of verhogen die juist. Hierdoor raakt de spiercel zo over- of ondergeprikkeld dat hij niet meer reageert op signalen uit het centraal zenuwstelsel. Er kan dus zowel een verslapping als een verkramping van de spier optreden.

Het derde type toxinen remt de afbraak van acetylcholine door remming van het enzym acetylcholine-esterase dat normaal gesproken acetylcholine afbreekt nadat het zijn werking

heeft uitgeoefend. Deze toxinen lijken steeds in combinatie op te treden met toxinen uit de tweede groep die de acetylcholineproductie stimuleren. Ze zijn aangetroffen in het gif van bepaalde soorten Afrikaanse Elapidae, de zeer giftige mamba's.

In de vierde groep vinden we giften die verantwoordelijk zijn voor de afbraak van huid, bindweefsel of skeletspieren. Ze kregen de naam *myotoxinen*. Men vindt ze in het gif van de Elapidae, de Viperidae, de Crotalidae en misschien bij de Hydrophiidae. Hun precieze werkingsmechanisme is nog onbekend. Tenslotte vormen de *cytotoxinen* of *cardiotoxinen* de vijfde groep. Ze ontregelen de membranen van talrijke cellen, niet alleen door ze af te breken, maar ook door transport van stoffen of signalen over het membraan te verstören.

Toxicologen, de onderzoekers die zich met giften bezighouden, proberen in het algemeen drie fundamentele vragen te beantwoorden. De eerste vraag is voor welke organismen het toxine werkelijk een toxine is. Daarnaast probeert men de chemische samenstelling op te helderen. Ten derde onderzoekt men de immunologische eigenschappen, met als doel een beschermende stof tegen het toxine te vinden. Het gebeurt slechts zelden dat men de drie vragen alle drie in detail, dat wil zeggen op moleculair niveau, kan beantwoorden. Bij sommige verlammende toxinen in slangegif is dit wel het geval, daarom gaan we daar in het vervolg van dit artikel nader op in.

Het oertoxine

Van zeventig verschillende toxinen met een verlammende werking uit slangegif is momenteel bekend dat het proteïnen zijn, terwijl ook de aminozuurvolgorde is opgehelderd. De aminozuurvolgorde van de peptideketen in een proteïne levert de zogenaamde primaire structuur. We weten pas hoe de keten gevouwen is en hoe waterstof- en zwavelbruggen de driedimensionale vorm stabiliseren als het proteïne is gekristalliseerd en er met röntgendiffractie een 3D-model is geconstrueerd.

De toxinen waar de aminozuurvolgorde van bekend is, kunnen worden onderverdeeld. Er is een groep polypeptiden met een ketenlengte van 60, 61 of 62 aminozuren. In deze toxinen komen steeds vier zwavelbruggen voor. De andere groep noemt men de lange toxinen: de ke-

tens zijn 66 tot 74 aminozuren lang en bevatten vier of vijf zwavelbruggen.

Bij het onderzoek naar proteïnen met een verwante werking bekijkt men meestal ook in hoeverre de twintig in proteïnen voorkomende aminozuren in gelijke opeenvolging en op overeenkomstige posities in de peptideketen zitten. Twee voorbeelden maken duidelijk welk beeld de vergelijking hier levert. De toxinen van twee verschillende soorten vertonen vaak vrij grote verschillen: het gif erabutoxine uit *Laticauda semifasciata*, de gewone platstaart, en alfatoxine uit *Naja nigricollis*, de zwarthalscobra, is op zeventien posities ver-

3

3 en 4. Pofadders, geslachtsnaam *Bitis*, behoren tot de gevaarlijkste adders die er zijn. Alle soorten zijn oovivipaar, wat wil zeggen dat de jongen uit het ei kruipen direct na het leggen ervan. Soms komen de eieren in de moeder al uit. In Afrika bestaan daardoor volksverhalen die zeggen dat de jongen zich een weg vreten naar buiten en daarbij de moeder doden. Pofadders bijten niet snel; ze zijn traag, maar een beet heeft vaak tragische gevolgen. Antisera worden vanouds bereid door dieren in te spuiten met gif. Ze maken dan antistoffen die het gif inactiveren. Om het gif te winnen worden slangen in gevangenschap gehouden en van tijd tot tijd 'gemolken' (4).

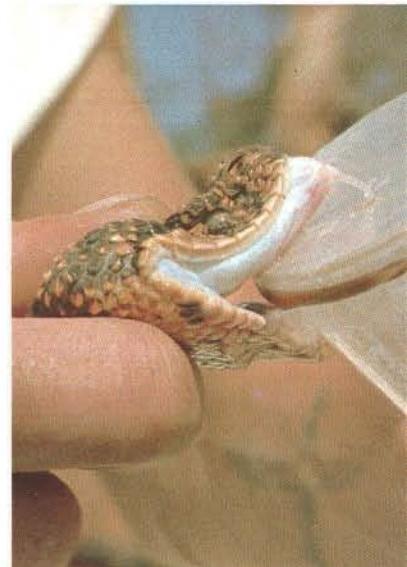


schillend (afb. 5). Dat is een vrij groot verschil voor proteïnen die dezelfde biologische functie hebben. Twee toxinen uit het gif van één soort vertonen daarentegen vaak grote overeenkomsten. Twee verlammende toxinen uit *Laticauda semifasciata*, namelijk erabutoxine a en b, hebben maar op één positie een verschillend aminozuur. Erabutoxine a heeft op positie 26 het aminozuur histidine, bij erabutoxine b zit daar asparagine.

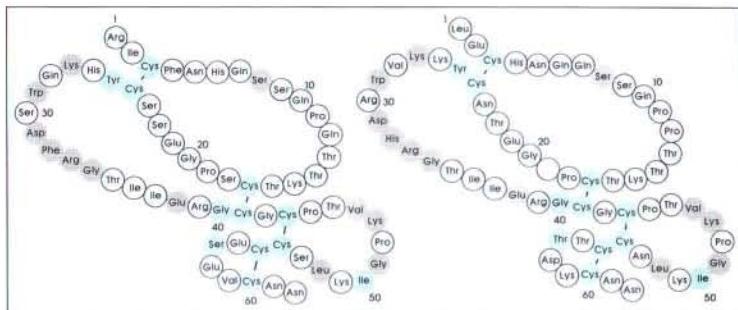
Een analyse van de aminozuurvolgorden van alle tot nu toe bekende toxinen heeft aan het licht gebracht dat op 25 posities bijna altijd hetzelfde aminozuur voorkomt. Op positie 25

zit bijvoorbeeld bijna altijd tyrosine, op plaats 29 is dat bijna altijd een tryptofaan. Deze 25 aminozuren op vaste posities zijn kennelijk onontbeerlijk voor een juiste werking van het toxine. Wanneer ze door een mutatie in het DNA veranderen, vermindert de effectiviteit van het toxine zodanig dat de dieren, of hun nakomelingen, die ermee uitgerust zijn uiteindelijk niet overleven. Het voorkomen van deze vaste aminozuren is ook een aanwijzing dat de betreffende toxinen afkomstig zijn van een gemeenschappelijke voorloper. Ergens in de evolutie moet dus een oerotoxine met de verlamende werking hebben bestaan.

4



5. De aminozuurvolgorden van verlammende toxinen uit het gif van *Laticauda semifasciata* (links) en *Naja nigricollis* (rechts) vertonen enkele overeenkomsten, hoewel de beide slangen tot verschillende families behoren. *Laticauda semifasciata* is een zeeslang (Hydrophiidae) terwijl *Naja nigricollis* een cobra is die met de mamba's tot de Elapidae behoort. Het afgebeelde protein bindt zeer goed aan de acetylcholinereceptoren. De lichtgrijsgroene aminozuren spelen een rol in de verlammende werking, het zijn dus aminozuren die bij het actief centrum van het enzym betrokken zijn. De blauwgekleurde aminozuren zijn van cruciaal belang voor het instandhouden van de driedimensionale en biologisch actieve structuur van de proteïnen.



5

6. *Vipera berus*, is, hoewel schaars, de in Nederland en België meest voorkomende adder. Het is een gifslang, maar het gif heeft niet de verlammende werking van de toxinen die in dit artikel de meeste aandacht krijgen. Addergif heeft vooral invloed op de membranen, waardoor bloedstolling en weefselafsterving het gevolg zijn van een beet.



6

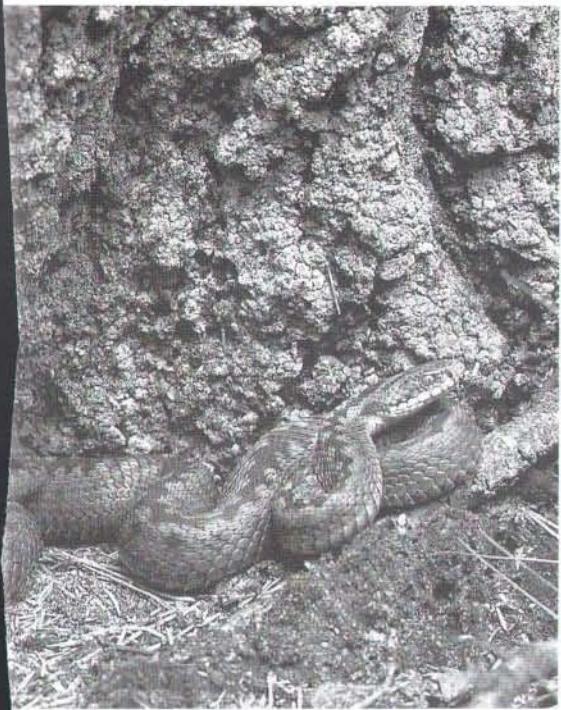
Een verlammende regio

De samenstelling en de vorm van het oertoxine gaat verder terug, zo is inmiddels uit kristallografisch onderzoek gebleken, dan alleen een gezamenlijk voorouderschap van de verlammende toxinen. Vergelijking van de structuur van een cardiotoxine, dat een geheel andere werking heeft, en de eveneens met röntgendiffractie opgehelderde structuur van een verlammend toxine, leert dat de polypeptideketens van beide proteïnen dezelfde ruimtelijke structuur bezitten. Cardiotoxinen en verlammende toxinen hebben nog aminozuren op 13 posities gemeenschappelijk, terwijl ook vier zwavelbruggen op overeenkomstige posities voorkomen. We mogen aannemen dat die 13 aminozuren en de zwavelbruggen een beslissende rol spelen in de architectuur van de proteïnen en niet van grote invloed zijn op de biologische functie van de enzymen, die immers bij cardiotoxinen en verlammende toxinen heel verschillend is.

Van de verlammende toxinen uit verschillende slangesoorten hadden we eerder geschreven

dat ze op 25 posities vrijwel steeds dezelfde aminozuren bezitten. Er zijn er 13 gereserveerd voor de structuur op grond van de vergelijking met de cardiotoxinen. De andere 12 zouden dus een rol kunnen vervullen in de sterk verlammende werking. Een blik op de structuur van erabutoxine b (afb. 8) toont aan dat die veronderstelling waarschijnlijk zo gek nog niet is. Hoewel ze verspreid in de polypeptideketen liggen, is die in zijn biologisch actieve vorm zo gewonden dat de 12 functionele aminozuren vrij dicht bijeen allemaal aan één kant van het proteïne liggen. Ze vormen een compacte zone die de 'verlammende regio' van het toxine kan worden genoemd.

Om de hypothese van de verlammende regio te testen hebben we het alfatoxine uit het gif van *Naja nigricollis* op verschillende manieren chemisch veranderd. Er zijn reacties bekend die specifiek aangrijpen op de zijstaarten van bepaalde aminozuren en hen zo veranderen dat hun chemische aard verandert. Wanneer die aminozuren een rol spelen bij de reactie die het enzym katalyseert wordt de werking door de verandering meestal grondig verstoord.



Door steeds slechts één aminozuur selectief te veranderen en dat bij een aantal aminozuren te doen, verkregen we een prachtige bevestiging van onze hypothese. Chemische veranderingen van aminozuren die niet tot de verlammende regio behoren, geven nauwelijks afwijking van de biologische functie te zien, maar modificatie van lysines op positie 27 en 47 en van tryptofaan op plaats 29, alle drie behorend tot de verlammende regio, veroorzaakt een verminderde activiteit en een slechtere affiniteit tot de acetylcholinereceptoren op spiercellen.

Ook andere laboratoria kwamen tot soortgelijke conclusies. Het was echter niet mogelijk door chemische veranderingen de rol van alle twaalf aminozuren te onderzoeken. De genetische-manipulatietechnieken openen deze mogelijkheid echter wel. Door het gen voor een toxine te nemen en daar selectief een andere base in te bouwen, zodanig dat op één positie het gen voor een ander aminozuur codeert, zijn veel genuanceerdere verschillen aan te brengen. Dat is waar wij in ons laboratorium momenteel aan werken en de eerste resultaten bevestigen slechts onze vermoedens.

Tegengif

Is eenmaal het actieve centrum van een toxine gevonden, dan blijven er natuurlijk nog genoeg vragen open die betrekking hebben op de interactie tussen de acetylcholinereceptor en het toxine. Hoe vindt de binding precies plaats? Is het toxine op weg naar de receptor nog veranderd ten opzichte van het molecuul dat wij bestuderen? Maken ze op dezelfde plaats contact met de receptor als waar acetylcholine hecht? En waarom oefenen ze dan niet dezelfde werking als acetylcholine uit?

De antwoorden daarop liggen nog in de toekomst verscholen. Wel weten we al iets meer over mogelijkheden om ons tegen slangegif te verweren. Dit komt omdat er al heel lang is gezocht naar goede antisera. Langzaam maar zeker kunnen we daarover op moleculair niveau ook iets zeggen, ook al omdat de inzichten in immunologische processen de laatste jaren enorm zijn toegenomen.

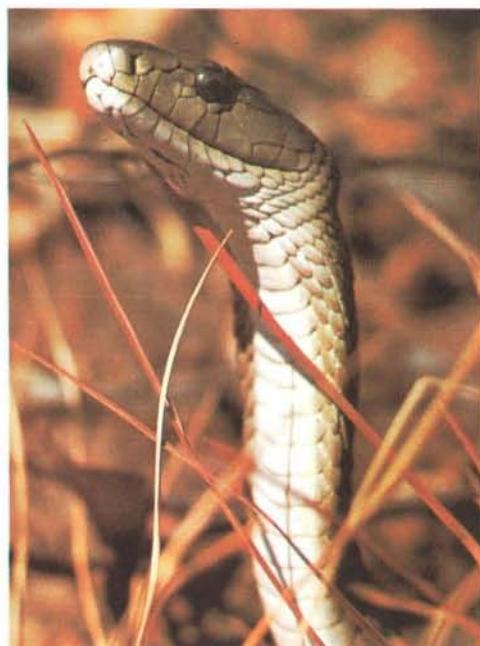
Vaccinatie is één van de meest doeltreffende beschermingswijzen tegen aanvallen door ziekteverwekkers. Het principe berust op een gepaste stimulering van ons afweersysteem door inenting met een niet-giftige stof die sterk lijkt op de pathogene stof waartegen weerstand moet worden opgewekt. Soms wordt wel de ziekteverwekker ingespoten, maar dan in een zeer lage concentratie. Hier moet men echter uiterst voorzichtig mee zijn; bij mensen doet men het nauwelijks. De inenting veroorzaakt een immuniteitsreactie waarbij het lichaam antistoffen, de zogenaamde *immunoglobulinen* maakt, die speciaal tegen het pathogeen gericht zijn. De immunoglobulinen inactiveren het gif door zich ermee te verbinden.

Inenting vooraf tegen de werking van slangegif doet men niet. Mensen die een slangebeet hebben gehad worden behandeld met een anti-serum dat uit dieren is gewonnen. Daartoe spuit men bijvoorbeeld paarden in met een hoge concentratie gif van een bepaalde slangensoort en wint dan de geproduceerde immunoglobulinen uit het bloed.

Onderzoekers hebben jarenlang gespeurd naar de manier waarop en de plaats waar immunoglobulinen aan de toxinen uit slangegif binden. Pas nadat de mogelijkheid bestond zogenaamde *monoklonale antilichamen* te maken is er werkelijk vooruitgang in het onderzoek gekomen. Het probleem was dat bij im-

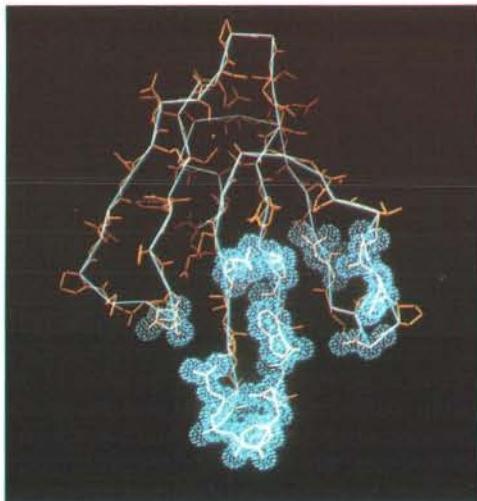
muunreacties in levende organismen niet slechts één soort immunoglobuline, maar een hele serie verschillende wordt gemaakt. Ieder immunoglobuline is dan gericht tegen een ander deel van de pathogene stof. Die verschillende immunoglobulinen zijn in het laboratorium nauwelijks van elkaar te scheiden, zodat het ontzettend moeilijk is om vast te stellen waar en hoe een bepaald toxine precies wordt aangepakt, omdat het van allerlei kanten door verschillende immunoglobulinen wordt gegrepen. Monoklonale antilichamen zijn zo geproduceerd dat ze slechts bestaan uit één soort immunoglobulinen, die dus maar op één manier aan een toxine binden. In samenwerking met enkele Parijse onderzoeksinstituten heeft ons laboratorium twee monoklonale antistoffen, Ma1 en Ma2-3, gevonden die het verlammende toxine uit het gif van *Naja nigricollis* uiterst nauwkeurig herkennen en neutraliseren. Dit laatste is niet vanzelfsprekend: er komen vaak monoklonale antistoffen tegen een stof beschikbaar die er weliswaar goed aan binden, maar de biologische activiteit niet uitschakelen. Dit heeft dan te maken met de plaats waar het immunoglobuline bindt. Zo kunnen we ons voorstellen dat een immunoglobuline dat niet in de buurt van de verlammende regio aan ons toxine (afb. 8) bindt, geen effect op de werking zou kunnen hebben. We kunnen ons echter evengoed voorstellen dat immunoglobulinen die zo binden wel invloed op de activi-

7. De zwarte mamba (*Dendroaspis polylepis*) is één van de giftigste slangen die er bestaat. Mamba's zijn in principe boomslangen, maar de zwarte mamba die tot vier meter lang kan worden, leeft ook op de grond. Er doen verhalen de ronde dat de soort agressief is tegen mensen, maar ook is vluchtgedrag gerapporteerd.

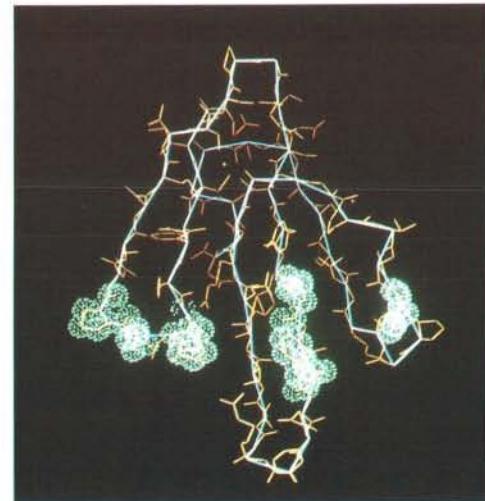


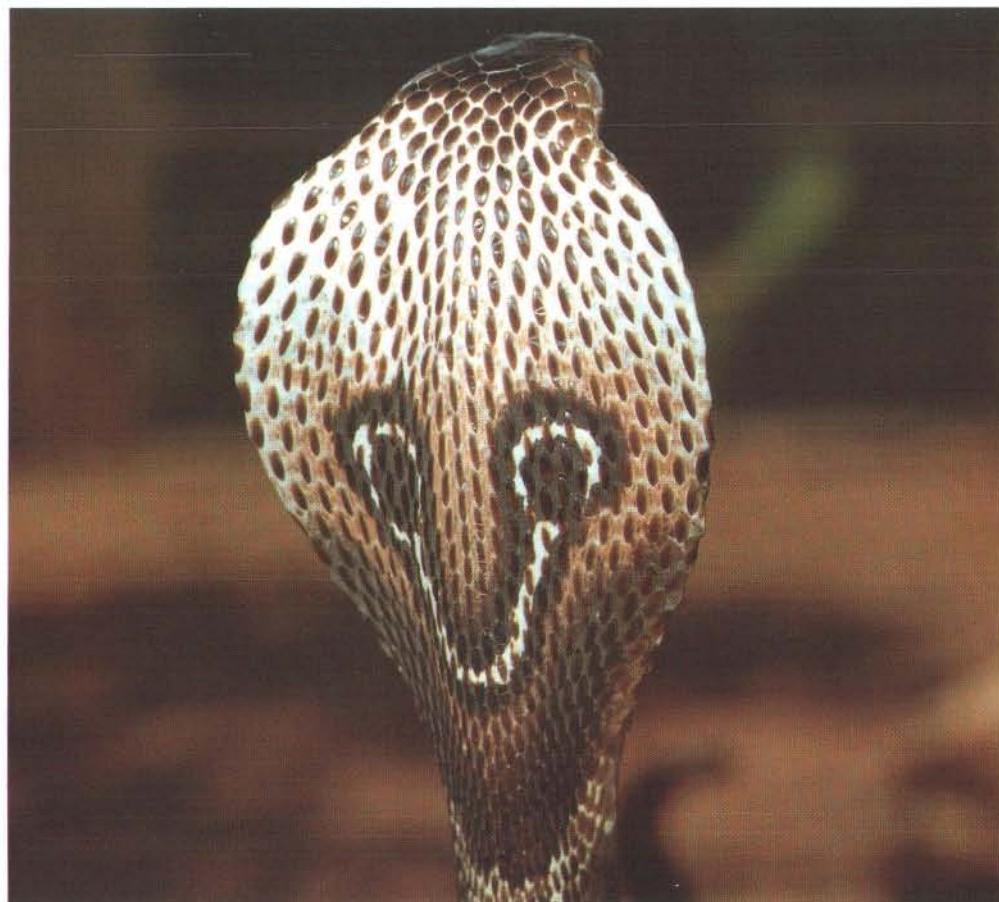
7

8



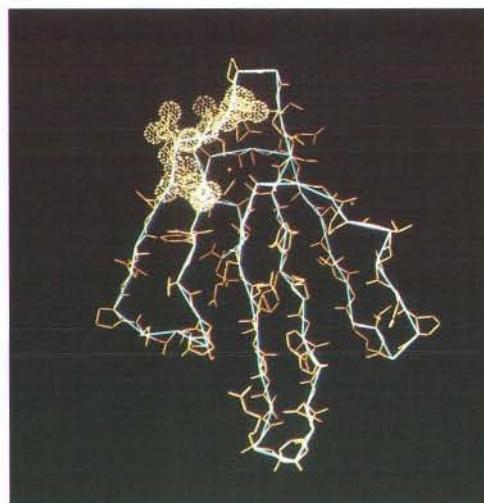
9





11

10



8, 9 en 10. Erabutoxine b uit het gif van *Laticauda semi-fasciata* is één van de verlammende giften waarvan de driedimensionale proteïnestructuur met behulp van röntgen diffraagte is opgehelderd. De aminozuren die een rol spelen bij de verlammende werking zijn in blauw weergegeven (8). In de actieve structuur blijken ze dicht bij elkaar te liggen (vergelijk afg. 5). De immunglobulinen M2-3 en M1 binden aan de aminozuren die in afbeelding 9 respectievelijk 10 verdikt en gekleurd zijn weergegeven.

11. *Naja naja*, de brilslang, is een cobrasoort die bij opwinding de verlengde ribben aan de derde tot dertigste wervel kan uitzetten zodat de nek een bijna plat vlak wordt. Aan de rugzijde is dan een prachtige tekening van de huid te zien, die bij verschillende ondersoorten anders van vorm is. Brilslangen zijn weliswaar giftig, maar ze bijten mensen zelden, een eigenschap waar de Aziatische slangenbezweerders dankbaar gebruik van maken.

teit zullen hebben, omdat een immunoglobuline-molekuul vele malen groter is dan een toxine, dat tot de zeer kleine proteïnen behoort.

Om te kunnen achterhalen hoe Ma1 en Ma2-3 de chemische activiteit van de toxinen beïnvloeden, hebben we weer gebruik gemaakt van chemische modificaties van aminozuren in het toxine. Het bleek dat veranderingen van de aminozuren die tot de verlammende regio behoren geen invloed hadden op bindingssterkte van allebei de monoklonale antilichamen aan het toxine. Veranderingen aan aminozuren buiten de verlammende regio hadden wel verschillende effecten op Ma1 en Ma2-3. Op basis van een hele reeks modificaties van het erabutoxine b, maar ook door experimenten met an-

INTERMEZZO

Giftige slangen

Meer dan 2500 soorten slangen zijn tegenwoordig bekend. Ongeveer een derde ervan is giftig.

De gifslangen zijn ondergebracht in vier grote families. Tot de Elapidae behoren de cobra's, de kraits, de koraalslangen en de mamba's. Ze leven hoofdzakelijk op land. Daarnaast onderscheidt men de Hydrophiidae (zeeslangen), de Viperidae (adders) en de Crotalidae (groefkopadders, waaronder de ratelslangen). De familie der Colubridae



12

12. *Haemachatus haemachatus* is een ringhalscobra die in het zuidelijke deel van Afrika leeft. Evenals *Naja nigricollis* die op de openingspagina's van dit artikel staat, is het een slang die als verdedigingsmiddel soms gif spuwt. Het doden van prooi gebeurt echter steeds met een beet, waarbij het gif in het slachtoffer komt.

dere toxinen die op één of meer aminozuurposities afwijken met de twee monoklonale antilichamen, kon uiteindelijk een beeld worden verkregen van de plaatsen waar beide antilichamen contact maken met erabutoxine b (afb. 9 en 10).

Ma2-3 grijpt aan in een gebied dat overlap vertoont met de verlammende regio van het toxine (afb. 9). De werking van het toxine wordt hier dus verhinderd door het eenvoudige principe van concurrentie: waar het antilichaam al zit is geen plaats meer over om nog eens aan de receptor te binden.

Het gebied dat door Ma1 wordt herkend valt echter helemaal niet samen met de verlammende regio (afb. 10). Men kan hier veronderstellen dat de werking berust op de ruimtelijke configuratie van de molekülen. Het antilichaam heeft een molekulengewicht van 150 000, het toxine slechts een van 7000. Het antilichaam is dus zovele malen groter dat het zich makkelijk gedeeltelijk om het toxinemolekuul zou kunnen vouwen, zodat contact met de acetylcholinereceptor in het spiercelmembraan niet meer mogelijk is. Deze uitleg is echter niet voldoende. Proeven in ons laboratorium tonnen namelijk aan dat het antilichaam het toxine kan herkennen en eraan kan binden als dit al aan een acetylcholinereceptor vastzit. Van een ruimtelijke belemmering kan dus geen sprake zijn. De drievoudige verbinding antilichaam-toxine-receptor is echter instabiel: de verbinding toxine-receptor houdt niet stand als het antilichaam erbij komt. Een aanlokkelijke,

(ringslangen) telt ongeveer 400 soorten waarvan het gif, op enkele uitzonderingen na, minder giftig is voor de mens. Op detailpunten is deze klassering overigens niet door alle biologen geaccepteerd. De giftige slangen zijn ruim verspreid over de aardbol, hoewel we wel moeten bedenken dat slangen door hun koudbloedigheid zich in de koudere klimaten niet kunnen handhaven. We treffen ze meestal in tropische en subtropische gebieden aan. Nederland en België liggen in het meest noordelijke areaal waar slangen nog voor-

komen. Afrika is vooral bekend om de cobra's en mamba's, in Azië vinden we ook cobra's en daarnaast vooral kracls. Cobra's komen ook in Australië voor, terwijl in Amerika koraalslangen het meest voorkomen. De zeeslangen zijn bijna helemaal aangepast aan het leven in water. Ze leven in de zeeën tussen de Afrikaanse oostkust en de Amerikaanse westkust en zijn vooral talrijk in Zuidoost-Azië en bij eilandjes in de Stille Oceaan. In Europa zijn het de verschillende adder-soorten die het meest voorkomen.

maar nog niet bewezen hypothese hierbij is, dat het antilichaam bij binding een structurele wijziging in het toxine veroorzaakt, en dan vooral in de verlammende regio, waardoor de binding tussen toxine en receptor niet meer past.

De vaststelling dat antilichaam Ma1 het toxine van de receptor kan 'losweken' heeft natuurlijk grote betekenis als het proces ook in levende organismen verloopt. Dan kan iemand die door een slangebeet al verlamd is geraakt en er wellicht slecht aan toe is, nog geholpen worden. Bij ratten is *in vivo* de werking aange- toond. Ingespoten met een dodelijke dosis toxine werd een rat in leven gehouden door kunstmatige ademhaling toe te passen. Zonder een behandeling duurt het ongeveer 20 uur voor zo'n proefdier weer herstelt. Na inspuiting met antilichaam Ma1 treedt binnen 80 minuten herstel op. Deze monoklonale antistof bezit dus een opmerkelijke geneeskraft.

Het antilichaam Ma2-3 is minder spectaculair in zijn effect, maar heeft het voordeel dat het universeel werkt op alle zogenaamde korte verlammende toxinen, waarbij de toevoeging 'kort' ons weer doet terugrijpen op een onderscheid tussen korte en lange polypeptideketens die in het begin van het artikel is gemaakt. Het effect is alleen nog maar *in vitro* aange- toond, maar Ma2-3 zou een middel kunnen worden dat een tegengif biedt tegen beeten van de vele soorten slangen in Afrika, Azië en Australië, die de verlammende korte toxinen produceren.

Tot besluit kunnen we stellen dat het onderzoek naar slangegiften twee uiterst belangrijke facetten heeft. Het onderzoek op molekulair niveau maakt het mogelijk zinvolle tegengiften te vinden. Daarnaast geeft het onderzoek aan slangegif ons de mogelijkheid om de biochemie van verstoerde systemen te bestuderen. Met de mogelijkheid de acetylcholinereceptor op verschillende manieren 'lam te leggen' hebben we ook de mogelijkheid om het spierprikkelingsmechanisme in detail te bestuderen. Het is dus geen wonder dat toxicologische laboratoria over de hele wereld veel onderzoek doen aan het opsporen en analyseren van slangegiften.

Bronvermelding illustraties

- Daniel Heuclin, Vaux en Couhé, Frankrijk: pag. 698-699
- Gerald Cubitt, Bruce Coleman Ltd, Uxbridge, Engeland: 2
- Bob Campbell, Bruce Coleman Ltd: 3
- Bruce Coleman Ltd: 4
- Dick Klees, Duiven: 6
- B. Rees en A. Menez, Saclay, Frankrijk: 8, 9, 10
- Gerald Cubitt, Bruce Coleman Ltd: 11
- A.J. Stevens, Bruce Coleman Ltd: 12

Dit is een bewerkte vertaling van een artikel dat eerder verscheen in ons Franse zusterblad La Recherche van juli/augustus 1987.

DE GLANS VAN HET GEBRUIK



Vuursteen is uitermate geschikt voor het maken van allerlei werktuigen, zoals bijlen, messen, schrabbers en sikkels. Van een grote vuursteenkool slaat men stukken af die, als ze een geschikte vorm hebben, verder afgewerkt kunnen worden, bijvoorbeeld tot voorwerpen om been mee te bewerken. De restanten hiervan uit de steentijd zijn belangrijk materiaal voor archeologen die de prehistorie bestuderen.

A.L. van Gijn
*Instituut voor Prehistorie
Rijksuniversiteit Leiden*

GEBRUIKSSPORENONDERZOEK AAN VUURSTEEN



Gedurende het grootste deel van de prehistorie was vuursteen het voornaamste materiaal voor het maken van werktuigen. Tot de introductie van metaal, in onze streken omstreeks 2000 jaar voor Christus, waren er immers weinig andere materialen vorhanden. Been, gewei en hout werden wel gebruikt en bewerkt, maar om er bij-

voorbeld mee te snijden, zijn ze weinig geschikt. Een voor archeologen prettige bijkomstigheid is dat vuursteen vrijwel onvergankelijk is. Vuurstenen werktuigen vormen daardoor een van de belangrijkste bronnen van informatie over de activiteiten van mensen uit de steentijd. Hoe weten archeologen nu wat men met die werktuigen heeft gedaan? Een nieuwe methode om dat te bepalen is de gebruikssporenanalyse.

Vuurstenen werktuigen hebben de mens al eeuwen verbaasd. Ooit dacht men dat het bijprodukten van de bliksem waren, maar sinds het midden van de vorige eeuw is het besef gegroeid dat vuurstenen ook door de mens bewerkt kunnen zijn. Men spreekt dan van *artefacten*. Vooral sinds men door ontdekkingstreinen in Afrika, Azië en Australië volkeren leerde kennen die nog vuurstenen werktuigen maakten en gebruikten, is men vuursteen ook werkelijk gaan onderzoeken.

Wat maakt vuursteen zo aantrekkelijk als grondstof voor het vervaardigen van werktuigen? De belangrijkste eigenschap van vuursteen is dat het, net als bijvoorbeeld glas, geen natuurlijke splijtvakken heeft. Dat wil zeggen dat het niet volgens natuurlijke breukvlakken splijt wanneer we er een klap op geven. Door de hoek van inslag, de kracht van de klap en de hardheid van het slagwerktuig te variëren, kan de vorm van het afgeslagen stuk bepaald worden. Dat kan een vuistbijl zijn met zijn specifieke vorm, maar ook kleinere afslagen kunnen het doel van de bewerking zijn. Zo'n afslag kan men bijvoorbeeld als mesje gebruiken of tot een pijlpunt omvormen.

Een tweede gunstige eigenschap van vuursteen is de hardheid. Die bedraagt 7 op de schaal van Moh; ter vergelijking diamant, het hardste mineraal, heeft een waarde van 10. Deze hardheid is te danken aan het feit dat vuursteen voor méér dan 90% bestaat uit kwarts (SiO_2). Dit maakt vuursteen niet alleen geschikt om zachte materialen te bewerken, zoals vlees en huiden, maar ook betrekkelijk harde, zoals been en hout. Tenslotte moet nog de fijnkorreligheid als aantrekkelijke eigenschap worden genoemd. Daardoor kunnen de afslagen die van een vuursteenknol worden geslagen, flinterdun en dus messcherp zijn. De dunne snijvlakken van vuurstenen werktuigen splinteren snel af, zeker wanneer ze gebruikt worden op hard materiaal. De werktuigen zullen dus vlug bot zijn geworden en weggegooid. Zo konden ze in de grond terechtkomen, waaruit de archeoloog ze uiteindelijk weer te voorschijn peutert.

Gebruikssporenanalyse

Tot in het begin van de jaren zeventig was de vorm van een vuurstenen werktuig het enige waaruit men het prehistorisch gebruik kon af-

lezen. Door opgegraven artefacten te vergelijken met die welke nog door bepaalde volkeren in de moderne tijd worden gebruikt, probeerde men iets over de functie te zeggen. Erg betrouwbaar is dit zoeken naar analogieën echter niet, omdat deze etnografische gegevens uit heel andere omstandigheden kunnen stammen dan prehistorische. Bovendien kun je aan de vorm van een 'mes' of 'schrabber' niet zien wat ermee gesneden of geschraapt is.

Sinds een jaar of vijftien is er echter een methode in ontwikkeling om de functie van vuurstenen artefacten op een meer objectieve wijze vast te stellen. Men richt zich daarbij op de

1 en 2. Met het einde van de steentijd kwam geen einde aan het gebruik van vuursteen. Tot in de vorige eeuw werden vuurslagen voor musketten en tondel dozen uit vuursteen gemaakt. In 1 zien we een aantal Engelse vuurslagmakers in Brandon. Afbeelding 2 is nog recenter en gemaakt in Turkije. Daar gebruiken boeren dorsleden (döven) die bestaan uit houten planken waarin vuurstenen mesjes geslagen zijn.



1

gebruikssporen. Dergelijke sporen ontstaan doordat vuursteen tijdens het gebruik niet alleen afsplintert, maar er bovendien slijtage aan optreedt die slechts met behulp van een microscoop zichtbaar is. Deze sporen manifesteren zich als afrondingen van de snijkant, als glans en als krasjes. Van deze gebruikssporen blijkt vooral de *glans* verschillen te vertonen afhankelijk van het type materiaal dat met het artefact is bewerkt. Het afschrapen van een huid levert andere gebruikssporen op dan het bewerken van bot. De glans en krasjes kunnen worden bestudeerd met een metaalmicro-



2



scoop. Voor de analyse is een vergroting met een factor 100 tot 560 noodzakelijk.

Om na te gaan welke soorten glans en andere sporen karakteristiek zijn voor de bewerking van bepaalde materialen, is het uitvoeren van experimenten erg belangrijk. Allereerst worden verse, dat wil zeggen niet-prehistorische, vuursteenknollen tot werktuigen gekapt. Met deze werktuigen worden allerlei activiteiten uitgevoerd zoals het maken van benen prie- men, het schrapen van huiden, het oogsten van graan of bewerken van hout. Die experimen- ten worden vele malen herhaald, waardoor een

collectie werktuigen ontstaat waarvan het gebruik precies vaststaat. Daarna worden de experimentele werktuigen onder de microscoop bekeken. De glans, krasjes en afsplinteringen kunnen nu worden vergeleken met gebruikssporen die op de archeologische vondsten zichtbaar zijn. Wanneer er voldoende overeenkomsten zijn tussen de slijtagesporen op een opgegraven werktuig en een categorie van experimentele voorwerpen, kan met grote waarschijnlijkheid geconcludeerd worden dat het gebruik overeenkomstig is geweest.

Zo beschreven, lijkt de methode vrij eenvoudig en logisch in elkaar te zitten, maar de praktijk is ingewikkelder. Dat komt met name doordat de gebruikssporen niet voor elk contactmateriaal verschillend zijn. Er bestaat overlap tussen de slijtagesporen, waardoor het lang niet altijd mogelijk is een eenduidige determinatie te geven. Bovendien zijn slijtagesporen niet altijd even goed zichtbaar. Met name de verwering van vuursteen, de zogenaamde *patinering*, die onder andere door de inwerking van bodemzuren optreedt, is een belangrijke storende factor. Het onderzoek naar het ontstaan van glans en de veranderingen die hij ondergaat door diverse bodemprocessen, vormt daarom ook een belangrijk onderdeel van het werk van de gebruikssporenanalist.

Het ontstaan van glans: een dilemma

Een hulpmiddel daarbij is de scanningelektronenmicroscoop (SEM). Deze heeft als voordeel dat zeer hoge vergrotingen (10000x en meer) mogelijk zijn en dat hij een ruimtelijk beeld geeft. Minstens zo belangrijk is dat er een EDAX-systeem aan kan worden gekoppeld. Dit maakt het mogelijk chemische elementen in een oppervlak te analyseren.

Eén van de vragen die met de SEM beantwoord kan worden, is hoe de gebruiksglans precies ontstaat. De onderzoekers zijn het hierover niet eens. Een deel is van mening dat deze glans een gevolg is van het mechanisch polijsten van het oppervlak van de steen door het contact met het bewerkte materiaal. Dit zou dan onder de SEM zichtbaar moeten zijn als een afvlakking van het vuursteenoppervlak. Anderen stellen echter dat glans ontstaat doordat tijdens gebruik wrijvingswarmte ontstaat die het silicium van de vuursteen doet smelten. Elementen van het bewerkte mate-

riaal zouden dan worden opgenomen in de 'silicium-gelei'. In dat geval zullen de plekken glans als het ware op het steenoppervlak liggen en andere elementen dan silicium bevatten.

Het onderzoek met de SEM geeft aan dat de waarheid waarschijnlijk ergens in het midden ligt. Zo is gebleken dat werktuigen die gebruikt zijn voor het oogsten van planten die zelf rijk zijn aan silicium, zoals granen, een glans bezitten waarin uiterst kleine hoeveelheden van het silicium van de plant zijn opgenomen. Deze glans is zo intens dat ze met het blote oog al waar te nemen is (*hoogglans*). Blijkbaar veroorzaakt het contact tussen het silicium in de steen en dat in de plant inderdaad een soort smeltproces. Bij contactmaterialen die geen silicium bevatten, zoals bot, de meeste houtsoorten, groene planten, gewei en huiden, is daarvan niets waar te nemen, althans niet met behulp van een EDAX-analyse. Indien het vuursteenoppervlak zou smelten als gevolg van contact met bot, dan zouden sporen van bijvoorbeeld koolstof en fosfor in de glans moeten zitten. Dit was niet het geval: de glansplekken veroorzaakt door contact met bot bleken geheel uit silicium te bestaan.

De EDAX-analyse biedt nog een andere toepassingsmogelijkheid, namelijk de bestudering van restjes vlees, sporen van bloed en plantesappen die meestal nauwelijks met het blote oog waarneembaar zijn. In onze streken zijn de bodemomstandigheden vaak zodanig dat dergelijke restjes zijn verdwenen door grondwaterbewegingen en micro-organismen. Niet alleen residuen verdwijnen in onze bodems, zelfs glans kan worden aangetast. Chemische processen kunnen er verantwoordelijk voor zijn dat het oppervlak van de vuursteen, met gebruikssporen en al, oplost. Ook grondbewegingen, bijvoorbeeld ten gevolge van beloping, kunnen van invloed zijn. Glans en krasjes worden dan als het ware afgeschuurd.

Hoewel niet alle vuursteencollecties geschikt zijn voor gebruikssporenanalyse zijn er toch belangrijke resultaten geboekt. Hieronder zullen met een paar voorbeelden de toepassingsmogelijkheden worden beschreven.

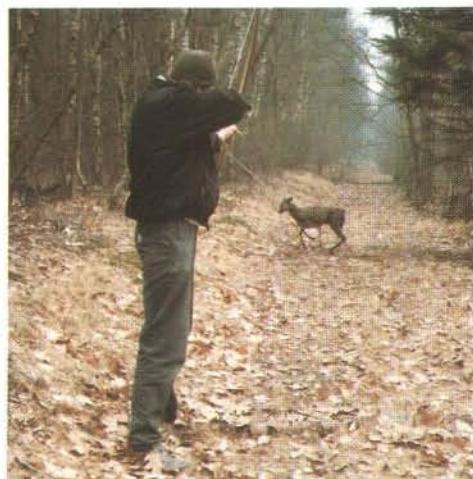
Het slachtmes van Belvédère

Het eerste voorbeeld betreft Belvédère, een grintgroeve bij Maastricht. Opgravingen aldaar hebben vuurstenen artefacten en botma-

teriaal opgeleverd van zo'n 250000 jaar oud. Hoewel veel vuursteenmateriaal gepatineerd was, waren her en der nog gebruikssporen zichtbaar. Eén van de werktuigen, een rugmes, met een type glans dat ontstaat bij de bewerking van huiden, verdient bijzondere aandacht. De glans hield namelijk het midden tussen die welke het gevolg is van de bewerking van 'verse' en 'droge' huid, een onderscheid dat in de gebruikssporenanalyse doorgaans goed te maken is. Bovendien was een groot aantal krasjes zichtbaar dat evenwijdig aan de snijrand verliep.

Deze combinatie van slijtagekenmerken vertoonde veel overeenkomst met de sporen op een werktuig dat een Amerikaanse collega mij eens liet zien. Hij had daarmee in een wildpark in Afrika slachtexperimenten uitgevoerd op een zojuist afgeschoten olifant. De krasjes waren veroorzaakt door het zand dat in de huid van olifanten en andere dikhuiden zit. Toen later, na het onderzoek van de faunaresten, bleek dat het mes gevonden was tussen een

3



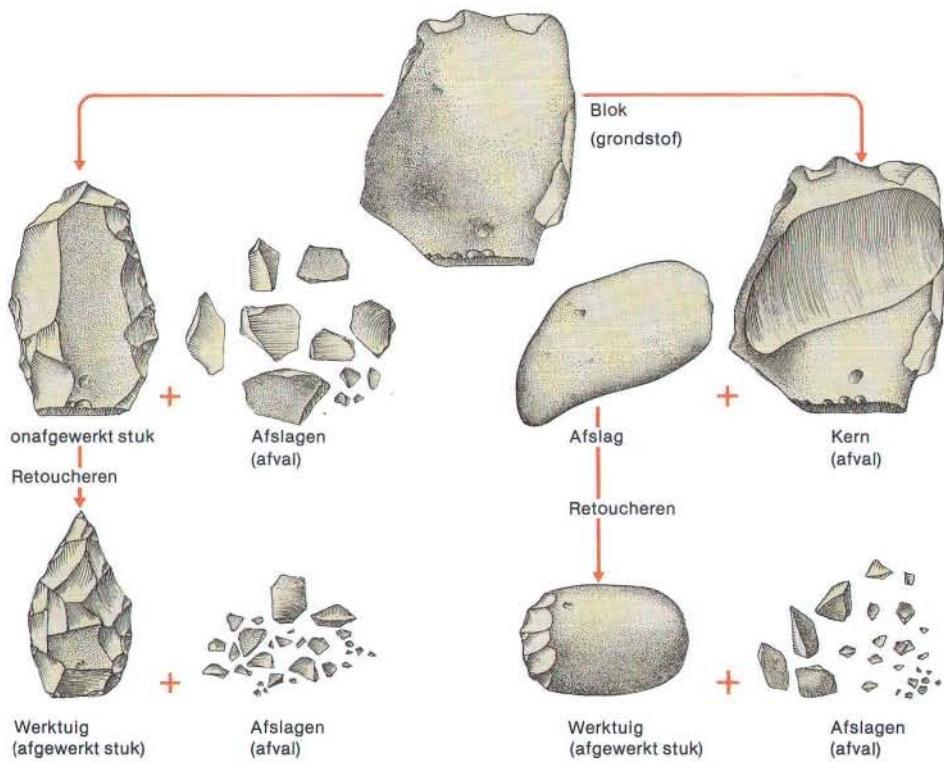
3. Om te zien welke gebruikssporen op een pijlpunt achterblijven, hebben onderzoekers zelf vuurstenen pijlpunten gemaakt en die met houtteer op pijlen vastgemaakt. Daarmee werd geschoten op een al gestorven ree. De aldus experimenteel gemaakte sporen kunnen worden vergeleken met die op prehistorische werktuigen.



4

4. Nog steeds bestaan er mensen die 'nog in de steentijd leven'. Het zijn er steeds minder en ze kunnen maar zelden hun leefwijze handhaven. Dit meisje behoort tot zo'n groep, de Tasaday, die op het Filipijnse eiland Mindanao leeft en pas in 1971 ontdekt is.

5



6. Om de sporen van het slachten van een ree te onderzoeken, werd het in afbeelding 3 'geschoten' dier geslacht met een geschacht vuurstenen mes, dat wil zeggen een mes dat van een handvat was voorzien.



6

7



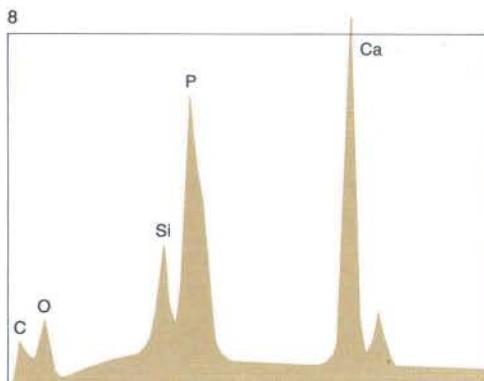
grote hoeveelheid neushoornbotten, was dit natuurlijk een interessant aanknopingspunt. Zelf uitgevoerde experimenten op een in Diergaarde Blijdorp overleden olifant ondersteunden vervolgens deze interpretatie. Zonder dit gebruikssporenonderzoek zou de conclusie dat het werktuig iets met de neushoornbotten te maken had, alleen berusten op het feit dat ze in elkaars buurt waren aangetroffen.

Een belangrijk discussiepunt voor de archeologen die zich met de steentijd bezighouden is de mate van intelligentie van de toenmalige mensen. De gebruikssporen die zijn aangetroffen op het rugmes wijzen erop dat ze de beesten in ieder geval hebben geslacht. Of ze de neushoorns zelf hebben gedood is met dit gegeven nog niet aangetoond, deze kunnen immers ook door roofdieren zijn afgemaakt.

De bewoningsduur van Hekelingen III

Bij het voorbeeld van Belvédère ging het om één artefact met een spectaculaire conclusie.

Meestal betreft de analyse echter de gehele collectie vuursteen van een vindplaats. Zo krijgt men een totaalbeeld van de activiteiten van de bewoners van een nederzetting. Een voorbeeld hiervan is de analyse van vuursteenmateriaal uit Hekelingen III, een neolithische nederzetting aan de Nederlandse kust die tussen 2900 en 2300 voor Christus bewoond is geweest. De vindplaats ligt in de buurt van Spijkenisse op een oeverwal aan wat in die tijd een brede kreek in het drassige gebied achter de duinen was. Op de oeverwal werd een aantal vondstconcentraties aangetroffen, bestaande uit aardewerk, vuursteen en bot. Hoewel er uit boten zadenonderzoek al veel bekend was over de prehistorische activiteiten in en rond de nederzetting, maakte onderzoek naar de functie van de vuurstenen artefacten een meer gedetailleerd inzicht mogelijk, met name omtrent de vraag of de plek het gehele jaar door bewoond was geweest, of dat zij alleen maar af en toe werd bezocht om bepaalde voedselbronnen aan te kunnen spreken.



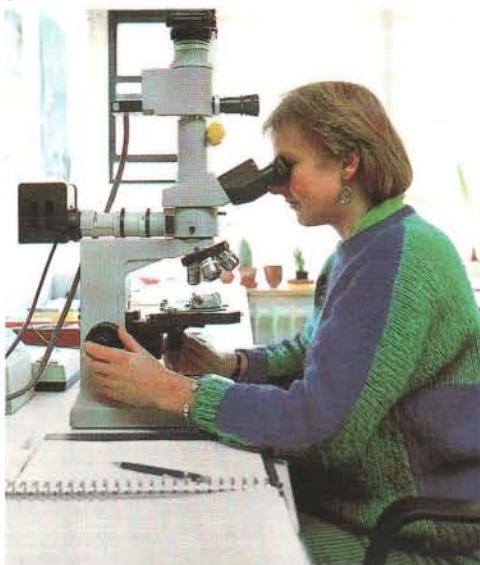
7. Gebruikssporen in beeld. Van links naar rechts zien we de sporen die beenbewerking, het snijden van grassen en het schrapen van huiden op het vuurstenen gereedschap achterlaten. De foto's boven zijn van experimentele werktuigen, onder zien we sporen zoals die op prehistorische artefacten zichtbaar zijn.

8. Grafiek van een EDAX-analyse van een plekje botresidu op het oppervlak van een stuk vuursteen. Dat het om bot gaat, blijkt uit de hoge waarden voor fosfor, koolstof en calcium.

Een manier om deze vraag te beantwoorden, is te onderzoeken of er op de vindplaats met de vuurstenen werktuigen slechts één specifieke activiteit is uitgevoerd, dan wel een breder scala aan werkzaamheden. In het eerste geval denkt men dan meer aan een tijdelijk bewoond kamp, voor bijvoorbeeld de jacht, in het tweede geval aan een langer bewoond nederzetting. De gebruikssporenanalyse laat zien dat verschillende materialen met vuurstenen werktuigen werden bewerkt. Zo kon worden vastgesteld dat de benen priemen die in groten getale werden aangetroffen, ter plekke moeten zijn gemaakt. Op grond van de fabricagesporen op de priemen heeft de archeoloog Thijs

Maarleveld het productieproces kunnen reconstrueren, en ook de rol die vuurstenen werktuigen daarbij hebben gespeeld. Door dit proces na te bootsen, kon een vergelijking worden gemaakt tussen de sporen die op verscheidene archeologische vuurstenen werktuigen werden aangetroffen, en die op de experimentele stukken. Ze vertoonden een opvallende gelijkenis. Ook blijken op sommige werktuigen sporen te zitten die wijzen op houtbewerking. Deels zijn deze gebruikt als schaven of boortjes, maar sommige vertoonden sporen die leken op die welke je krijgt bij het splijten van takken. In de omgeving van de vindplaats groeiden volop wilgen en mogelijk zijn wilge-

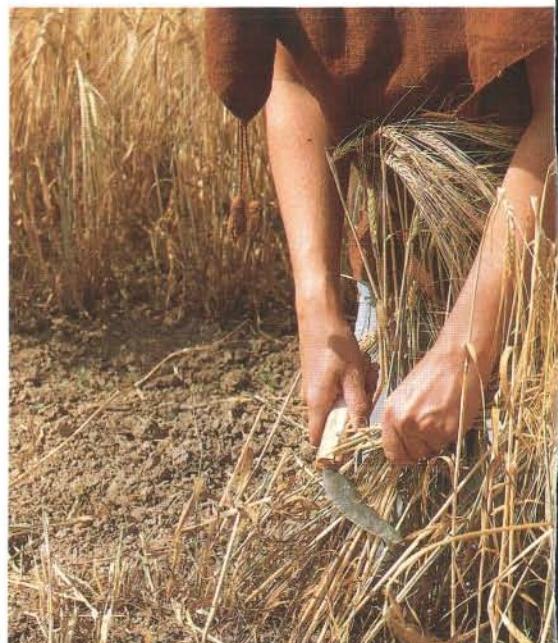
9



9. De meeste gebruikssporen zijn niet met het blote oog zichtbaar. Microscopen zijn dan ook een onvervangbaar hulpmiddel bij de bestudering ervan.

10. Een aantal vuurstenen sikkels uit de bronstijd. Goed zichtbaar is de uitgesproken hoogglans die zich over het grootste deel van de werktuigen uitstrekt.

11



10



tenen gespleten om manden of visfuiken te maken. Tenslotte zijn er op een aantal werktuigen sporen aangetroffen die het gevolg zijn van het schrapen van huiden. Dit is niet verwonderlijk aangezien de bestudering van het botmateriaal heeft uitgewezen dat er gejaagd is, onder andere op ree en edelhert.

De verschillende activiteiten die door het gebruikssporenonderzoek konden worden aangetoond, maken duidelijk dat Hekelingen III intensief bewoond is geweest. Het scala aan werkzaamheden was veel breder dan men in een jachtkamp mag verwachten. Of men er het gehele jaar door woonde, dan wel alleen een lang seizoen, is echter nog steeds een vraag.

11. Experimenten met het oogsten van granen met behulp van een vuurstenen sikkels, maakten duidelijk dat de bij een opgraving gevonden sikkels hiervoor niet gebruikt konden zijn. De gebruikssporen die bij het oogsten ontstonden weken daarvoor te veel af van die op de gevonden sikkels. Rechts een aantal door de onderzoekers gemaakte sikkels.



Sikkels uit de bronstijd

Uit een nog iets latere periode, de bronstijd, die bij ons rond 1800 voor Christus begint, stamt het laatste voorbeeld. Men gaat er vaak van uit dat de mens in deze periode uitsluitend metaal gebruikte voor het maken van snijden- de voorwerpen. Immers, vanuit ons moderne gezichtspunt zijn stenen werktuigen veel primitiever dan, en dus inferieur aan, hun metalen tegenhangers. Toch is er tot ver in de bronstijd vuursteen gebruikt. Niet zo vreemd als het lijkt, want er was gemakkelijk aan te komen, terwijl de grondstoffen voor brons moesten worden geïmporteerd.

Uit de bronstijd is onder andere een categorie werktuigen van vuursteen bekend die *sikkels* wordt genoemd. Deze zijn hoogstwaarschijnlijk uit Noord-Duitsland of Denemarken ingevoerd, want in de keileem van Noord-Nederland is de benodigde kwaliteit vuursteen niet te vinden.

De sikkels zijn aan twee zijden bekapte werktuigen met een lengte van 10 tot 18 cm. Vanwege hun halve-maanvorm nam men gemaakshalve aan dat ze vroeger ook als sikkels dienden. Een aanwijzing dat deze voorwerpen werden gebruikt bij het oogsten van granen is het feit dat ze hoogglans vertonen. Toch bestonden er twijfels omtrent de sikkelhypothese, mede omdat veel van deze voorwerpen gevonden werden in laaggelegen moerassige gebieden, waar de verbouw van granen bepaald niet voor de hand lag.

Om dit sikkelprobleem eens op een andere manier te benaderen is een aantal experimenten uitgevoerd, waarbij granen werden geoogst met behulp van verschillende typen nagemaakte vuurstenen sikkels. De afdeling Plantenveredeling van de Landbouwuniversiteit in Wageningen stelde hiervoor enkele proefveldjes met diverse graansoorten ter beschikking. Het bleek dat een tot een halvemaanvorm bewerkte sikkel veel minder efficiënt werkte dan een eenvoudige scherpe kling, geschacht in een handvat. Bovendien ontstond door het oogsten weliswaar hoogglans, maar dit geschiedde slechts langzaam en bleef beperkt tot een band van maximaal 1 cm breedte langs de werkrand. Op geen van de experimentele werktuigen strekt de hoogglans zich uit over het gehele oppervlak van het stuk, terwijl dat wel het geval is bij de archeologische stukken.



12



13

1	2	3	4	
Werk具ig				
Bewerking				

14

Tijdens het experiment bleek dat de sikkels snel bot werden en vaak moesten worden aangescherpt door uit de werkrand opnieuw kleine afslagjes af te slaan. Bij dit aanscherpen werd het oude oppervlak verwijderd, en daarmee ook de glans. Het proces van glansvorming moet dan weer opnieuw beginnen. Op de archeologische werktuigen is van aanscherpen op deze manier echter niets te zien. Sommige zijn zelfs extreem stomp, met een 'werkrand' van wel 3 mm breed.

Op grond hiervan was duidelijk dat geen van de 22 onderzochte archeologische sikkels, met uitzondering van twee stuks, gebruikt was voor het oogsten van graan. De vraag was vervolgens: waarvoor hebben ze dan wel gediend? Waar komt die glans vandaan?

De enige materiaalcategorie die een zodanig

schurende werking heeft dat snel een vergelijkbare hoogglans ontstaat, is grond. Het zou dus kunnen zijn dat de sikkels onderdeel van een primitieve ploeg waren. Deze hypothese klopte echter niet met de richting van de krassen op de werktuigen en evenmin met de plaats van de *schachtingssporen*. Dat zijn de sporen die zijn ontstaan door de wrijving met het handvat dat aan de sikel gezeten heeft.

Om deze redenen is een andere hypothese getest, namelijk dat de sikkels voornamelijk gebruikt zouden zijn voor het snijden van plagen. Plagen werden in de bronstijd gebruikt voor het opwerpen van grafheuvels en moeten tevens als bouwmateriaal hebben gedienst in streken waar geen hout en stenen waren. Denk maar eens aan de plaggenhutten op de Drentse heide, die tot aan het begin van de

12. Vuursteenaflagen kunnen zo scherp zijn, dat het geen moeite kost ermee de bast van een eiken stammetje te verwijderen.
13. Karakteristiek voor de slijtagesporen op pijlpunten is de lineaire verspreiding van de glans.
14. In Hekelingen III zijn grote hoeveelheden benen pieren aangetroffen. Op deze afbeelding is weergegeven hoe deze gemaakt werden. Het proces kan grotendeels worden gereconstrueerd, dank zij de fabricagesporen op het been en de slijtage op de vuursteen.
15. Tekening van een sikkeltje, waarop met een raster de glanssporen zijn aangeduid en met kruisjes, mogelijke schachtingssporen.



Vermaning

We hebben gezien dat gebruikssporenonderzoek van vuurstenen werktuigen in een aantal opzichten een bijdrage kan leveren tot een beter inzicht in prehistorische samenlevingen. Zo is het mogelijk om binnen een nederzetting te achterhalen waar welke activiteiten plaatsvonden, om te ontdekken wat voor de prehistorische mens een goede werkrand vormde voor bepaalde taken, en om iets meer te weten te komen over economie en ambacht.

Eén van de vragen die met name in Nederland wordt gesteld is: kan gebruikssporenanalyse nu ook iets zeggen over de stenen van Vermaning? Vermaning was een Drents amateurarcheoloog, die grote hoeveelheden stenen voorwerpen vond, waarvan de echtheid door sommigen in twijfel wordt getrokken. Over de echtheid kan de gebruikssporenanalyse helaas geen uitsluitsel geven. Immers, de afwezigheid van gebruikssporen op deze stenen hoeft niet te betekenen dat ze niet 'echt' zijn: ze kunnen of simpelweg nooit zijn gebruikt, of de gebruikssporen zijn door secundaire oppervlakteveranderingen niet meer zichtbaar. Evenmin maakt een eventuele aanwezigheid van gebruikssporen de stenen automatisch 'echt': een slimme vervalser kan de stenen recentelijk gebruikt hebben en het onderscheid tussen prehistorische en recente gebruikssporen is nauwelijks te maken.

ze eeuw nog opgetrokken werden. Experimenten met het snijden van plagen toonden niet alleen aan dat sikkels qua vorm uitermate geschikt zijn voor dit doel, maar tevens dat er zeer snel, al na 30 minuten plagen steken, hoogglans ontstaat die het gehele steenoppervlak beslaat en dus niet beperkt is tot een band van 1 cm breed, zoals het geval is bij het oogsten van granen. De glans vertoont ook onder de microscoop een opvallende gelijkenis met de glans op de prehistorische sikkels. Daarom kunnen we nu voorzichtig stellen dat het waarschijnlijk onjuist is om deze werktuigen sikkels te noemen, hoewel we natuurlijk niet kunnen uitsluiten dat ze primair wel als zodanig zijn gebruikt. Dit is echter niet meer na te gaan, omdat de sporen van een eerste gebruik zijn overdekt door die van het laatste.

Literatuur

- Beuker JR. *Vakmanschap in vuursteen*. Assen: Museumfonds, 1983.
 Keeley LH. *Experimental determination of stone tool uses*. Chicago: University of Chicago Press, 1980. ISBN 0-226-42889-3.
 Semenov SA. *Prehistoric Technology*. Bradford-on-Avon: Moonraker Press, 1964. ISBN 0-239-00029-3

Bronvermelding illustraties

- Prof dr Jacques Tixier, Parijs: pag. 710-711 (onder).
 Ernst J. Klaeg, uit: Dostal W. *Alacahöyük-Ethnografische Skizzen eines Anatolischen Dorfes*. Bern: Bernisches Historisches Museum, 1971: 2.
 John Nance, Magnum/ABC-press, Amsterdam: 4.
 Alle overige illustraties zijn van de auteur.

VAN PROPELLER TOT PROPFAN

DERTIG JAAR VERKEERSVLIEGTUIGEN

Aan het eind van de jaren vijftig deed het straalverkeersvliegtuig zijn intrede in het luchtverkeer. Luchtreizigers konden zich daardoor sneller verplaatsen. De vliegtuigen werden ook groter, zodat meer passagiers vervoerd konden worden. Het luchtverkeer is sindsdien enorm in omvang toegenomen. Het aantal mensen dat met het vliegtuig op reis is geweest, is groter dan ooit. Bij de ontwikkeling van nieuwe vliegtuigtypen speelt de voortstuwing een bepalende rol. Nieuwere typen maken veel minder geluid en verbruiken relatief veel minder brandstof dan hun voorgangers. Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van de voortstuwing lopen als een rode draad door de geschiedenis van het straalverkeersvliegtuig.



De toename van het burgerluchtverkeer na de Tweede Wereldoorlog, komt soms tot uiting in rijen vliegtuigen van uiteenlopende typen, die op een taxibaan wachten op toestemming om het luchtruim te mogen kiezen.

H. Wittenberg
Faculteit der Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek
T.U. Delft

LUCHTVAART

Na het einde van de Tweede Wereldoorlog in 1945 kwam de burgerluchtvaart weer spoedig op gang. De wederopbouw in vele delen van de wereld maakte snelle verbindingen noodzakelijk. Voor het verkeer over korte afstanden werd de vooroorlogse Douglas DC-3 (Dakota) in grote aantallen gebruikt. De in de oorlog gemaakte vorderingen op het gebied van motoren, instrumenten, materialen en produktiemethoden konden nu worden gebruikt voor de bouw van grotere en snellere verkeersvliegtuigen. Deze werden, anders dan de vooroorlogse typen, voorzien van een drukkajuit, waardoor grotere hoogten en hogere vliegsnelheden bereikbaar werden.

Bekende typen die in de periode 1945-1955 in gebruik kwamen waren de Lockheed Constellation en de Douglas DC-6 en DC-7. Deze waren uitgerust met vier zuigermotoren die luchtschroeven aandreven. Zij vlogen met een snelheid van $500 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ op 6000 m hoogte en konden 50 tot 80 passagiers vervoeren. Met één of twee (noodzakelijke) tussenlandingen konden deze vliegtuigen in 14 uur van Amsterdam naar New York vliegen. Het geregelde luchtverkeer tussen de oude en nieuwe wereld kwam dank zij deze toestellen op gang.

Tijdens de oorlog was zowel in Engeland als in Duitsland gewerkt aan de ontwikkeling van de straalmotor. Aan het eind van de oorlog waren de eerste typen straaljagers al operationeel. Nu kon dit nieuwe motortype ook in ci-

1. Hoewel Schiphol vlak na de oorlog lang niet zo groot was als nu, kon het er al flink druk zijn. Op deze luchtfoto zien we diverse vliegtuigen uit die tijd, zoals DC-3's (rechts) en DC-4's (op de voorgrond). De DC-4 werd toen tijdelijk gebruikt voor vluchten op Nederlands-Indië. De kleine tweedekkers zijn De Havilland Dominies, die voor het binnenlands verkeer gebruikt werden.



1

TABEL. Enkele lange-afstandsverkeersvliegtuigen

Type	In dienst sinds	Voortstuwing	Aantal passagiers	Totaal gewicht (ton)	Kruis-snelheid ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	Kruis-hoogte (km)	Produktie per uur ($\text{pass} \cdot \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
Douglas DC-7C	1956	Zuigermotoren	80	64	500	6	$40 \cdot 10^3$
De Havilland Comet I	1952	Turbostraalmotoren ($\lambda = 0$)	44	45	790	10	$35 \cdot 10^3$
Douglas DC-8 - 50	1961	Dubbelstroomstraalmotoren ($\lambda = 1,5$)	150	143	875	10	$131 \cdot 10^3$
Boeing 747 - 200B	1972	Dubbelstroomstraalmotoren ($\lambda = 5$)	360	350	900	11	$324 \cdot 10^3$
Concorde	1976	Turbostraalmotoren ($\lambda = 0$)	128	180	2100	16	$269 \cdot 10^3$

2, 3 en 4. Drie vliegtuigtypen uit verschillende na-oorlogse perioden. De Douglas DC-3 kwam direct na de oorlog in grote getale in gebruik (2). De De Havilland Comet-4 (3) was een verbeterde versie van de Comet-1. Die kwam begin jaren vijftig als eerste straalverkeersvliegtuig op de luchtroutes. De Brits-Franse Concorde (4) is het enige supersonische verkeersvliegtuig dat in bedrijf is.



2



3



4

viele vliegtuigen worden toegepast. Engeland verrichtte op dit gebied pionierswerk: in het begin van de jaren vijftig werd daar de viermotorige De Havilland Comet gebouwd, een toestel voor 44 passagiers. Een serie ongelukken, als gevolg van problemen met de drukkakuit, hield de toestellen van dit type echter langdurig aan de grond. De latere, verbeterde versies moesten het afleggen tegen hun Amerikaanse concurrenten, daar de vliegtuigbouwers in de VS zich inmiddels ook op de bouw van straalverkeersvliegtuigen hadden geworpen. In 1958 bouwde Boeing de 707 en Douglas de DC-8. Dit zijn viermotorige vliegtuigen met pijlvleugel en een vliegsnelheid van 800 tot 850 km·h⁻¹, die meestal vliegen op een hoogte van 10 km met rond 150 passagiers. Een hele stap voorwaarts vergeleken met de

eerdere schroefvliegtuigen. Nu werd het mogelijk non-stop in ongeveer zeven uur naar New York te vliegen.

Aan de Fransen komt de eer toe het eerste straalverkeersvliegtuig voor de korte afstand te hebben ontwikkeld: de Sud Aviation Caravelle met de karakteristieke motoropstelling achter aan de romp, in plaats van de klassieke opstelling aan de vleugels.

Tegelijk met het straalvliegtuig werden ook schroefturbinevliegtuigen ontwikkeld, waarbij de gasturbine een luchtschroef aandrijft. vergeleken met de zuigermotor is de gasturbine lichter, heeft ze minder luchtweerstand en een lager trillingsniveau. Deze motoren werken immers continu en bevatten geen cyclisch bewegende zuigers. Schroefturbinevliegtuigen vliegen niet zo snel als een straalvliegtuig,

5 en 6. Het grootste straalverkeersvliegtuig dat ooit gebouwd is, is de Boeing 747, een vliegtuig voor het langeafstandsverkeer dat, afhankelijk van het type, 350 tot 500 passagiers kan vervoeren. Nog steeds wordt het ontwerp verder verfijnd. Onderlangs vloog de Boeing 747-400 voor het eerst. Op afbeelding 6 is te zien dat dit type is uitgerust met zogenoemde winglets, de omhoogstaande vleugeluiteinden. De toepassing hiervan blijkt belangrijke brandstofbesparingen op te leveren.

7 en 8. De Fokker F-27 Friendship (8) is een van de meest gebouwde schroefturbinevliegtuigen voor het korte-afstandsverkeer. Inmiddels heeft hij een opvolger gevonden in de Fokker 50. Uiterlijk lijken beide typen sterk op elkaar. Een van de weinige zichtbare verschillen is de luchtschroef, die bij de Fokker 50 zes bladen heeft, die ook een duidelijk andere vorm hebben (7). Dit nieuwe ontwerp beperkt vooral de geluidshinder.



5



6

maar verbruiken bij snelheden tot $600 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ minder brandstof. Daardoor zijn ze erg geschikt voor korte-afstandsverkeer. Het eerste commercieel gebruikte type was de Engelse Vickers Viscount uit 1948. Momenteel worden schroefturbines alleen toegepast in vliegtuigen voor 70 passagiers of minder, zoals de Fokker 50.

Omloopmotoren

In het begin van de jaren zestig werd een nieuwe generatie straalmotoren ontwikkeld, de *omloopstraalmotor* (afb. 1-2). Het belangrijkste bezwaar van de zuivere straalmotor was het hoge brandstofverbruik. In de omloopmotor wordt een deel van de voortstuwend kracht geleverd door lucht die niet aan het ver-





brandingsproces deelneemt, maar door een lage-drukcompressor (*fan*) langs de verbrandingskamer wordt gevoerd en tot de voortstuwing bijdraagt. Deze motoren zijn belangrijk zuiniger dan de zuivere straalmotor.

Vooral aan dit type straalmotor was het te danken dat de straalverkeersluchtvaart een grote vlucht kon nemen. Ze werden gebruikt in verbeterde versies van de Boeing 707 en de Douglas DC-8, maar ook in typen voor middellange afstanden die rond 1965 verschenen, zoals de driemotorige Boeing 727, de tweemotorige Douglas DC-9 en, later, de eveneens tweemotorige Boeing 737. Ook de Fokker F-28 werd ervan voorzien. Dit type wordt beschouwd als het kleinste straalverkeersvliegtuig dat economisch rendabel in het geregelde luchtverkeer kan worden ingezet.

Een verdere verbetering van de techniek van de omloopmotoren werd toegepast bij de Boeing 747 (vroeger ook wel Jumbo Jet genoemd). Dit is het grootste verkeersvliegtuig tot nu toe en is bij vrijwel alle grote westers georiënteerde luchtvaartmaatschappijen in gebruik voor het lange-afstandsverkeer. De 747 kan 350 tot 500 passagiers vervoeren. Hij is uitgerust met vier turbofanstraalmotoren. Deze hebben ten opzichte van de eerdere omloopmotoren een veel gunstiger brandstofeconomie, omdat veel meer omloopvlucht wordt toegepast. Was bij de eerste generatie omloopmotoren de *omloopverhouding* – de verhouding

8



Voortstuwing en voortstuwingsinstallaties

De voortstuwing van een vliegtuig berust op de derde wet van Newton: actie = reactie. Lucht wordt ten opzichte van het vliegtuig naar achteren versneld (actie), waardoor een voortstuwendende kracht op het vliegtuig werkt (reactie). De energie voor de versnelling van de lucht wordt geleverd door de energieomzetter, die de chemische energie van de brandstof omzet in mechanische energie. De voortstuwer zet deze om in een voorwaartse kracht, waarvoor zowel bij schroef- als bij straalvliegtuigen geldt:

$$T = m(w - v)$$

Hierin is T de trekkkracht (thrust) van de luchtschroef of straalmotor, m de luchtmassa die per tijdseenheid wordt versneld, w de snelheid van de schroef- of stuwsstraal en v de vliegsnelheid. Het vermogen voor het opwekken van de schroef- of stuwsstraal is gelijk aan de toename van de kinetische energie van luchtmassa m :

$$P_j = \frac{1}{2} m(w^2 - v^2)$$

Het voortstuwingssrendement is de verhouding tussen het vermogen beschikbaar voor de voortstuwing ($F_s \cdot v$) en het vermogen P_j :

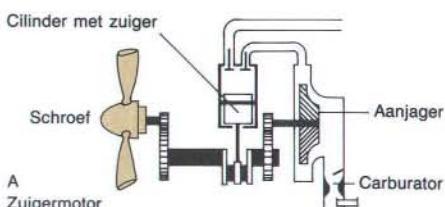
$$\eta = \frac{Tv}{P_j} = \frac{m(w - v)}{\frac{1}{2} m(w^2 - v^2)} = \frac{2}{1 + w/v} = \frac{2}{2 + T/mv}$$

Voor een gegeven trek- of stuwskracht T neemt het voortstuwingssrendement dus toe naarmate de versnelde luchtmassa m groter is en de vliegsnelheid v hoger is. Het voortstuwingssrendement is een belangrijke parameter voor het brandstofverbruik van de motor.

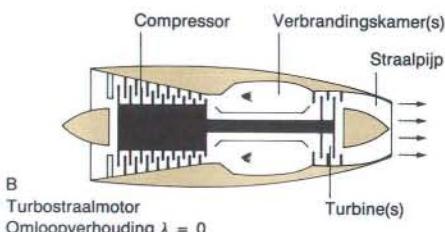
De energieomzetting in een vliegtuigmotor berust op de toepassing van een thermodynamisch kringproces: compressie, warmtetoever door verbranding, expansie en warmte-afvoer, waarbij de kring wordt gesloten door begin- en eindtoestand (denkbeeldig) te verbinden. In de luchtvaart worden als energieomzetters zuigermotoren en gasturbines gebruikt.

Bij de zuigermotor doorloopt de aangezogen lucht de kringloop periodiek. Het in de cilinders ontwikkelde vermogen wordt via de zuigers en de krukas omgezet in asvermogen dat de luchtschroef aandrijft. Afgezien van verliezen in de werking van de schroef, komt dit asvermogen overeen met het straalvermogen P_j .

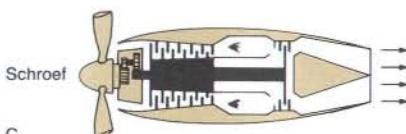
De gasturbine werkt continu en bestaat uit een compressor, verbrandingskamer(s) en turbine. De in de verbrandingskamer(s) opgewekte energie wordt voor een deel gebruikt om via de turbi-



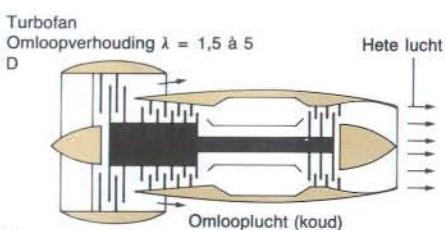
A
Zuigermotor



B
Turbostraalmotor
Omloopverhouding $\lambda = 0$



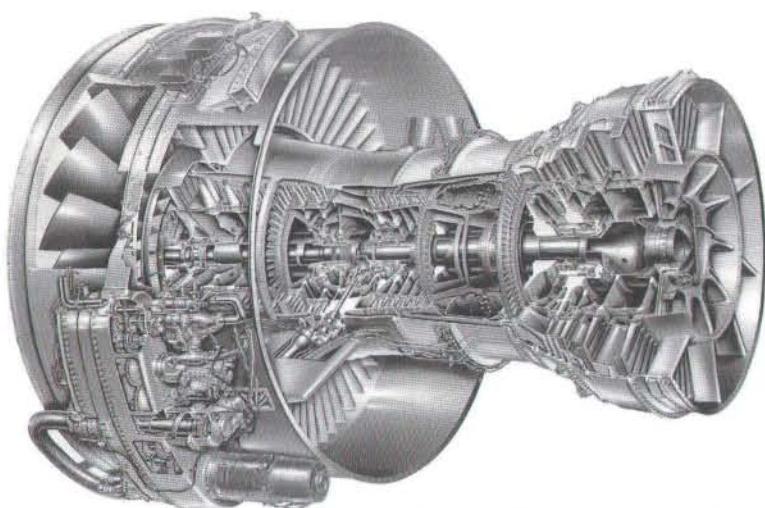
C
Schroefturbine
Omloopverhouding $\lambda = 80 \text{ à } 100$



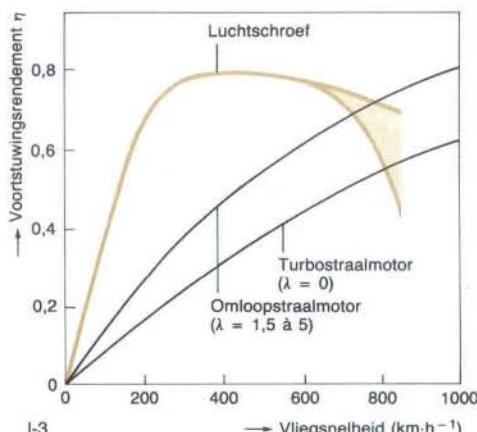
D

ne de compressor aan te drijven, die de aangezogen lucht op de gewenste hoge druk brengt. Bij de turbostraalmotor wordt de resterende energie in de vorm van een stuwsstraal voor de voortstuwing gebruikt. Bij de schroefturbine wordt vrijwel alle energie van de gassen, na de verbrandingskamer(s) door turbine(s) omgezet in asvermogen. Het deel dat niet nodig is om de compressor aan te drijven, wordt aan de luchtschroef toegevoerd.

De dubbelstroom straalmotor (by-pass- of turbofanmotor) is een combinatie van beide vorige motortypen. De luchtschroef is hier een omman-



I-2



I-3

I-1 en I-2. De overeenkomsten en verschillen tussen de meest gangbare typen vliegtuigmotoren. Bij de zuigermotor (A) wordt een brandstof-luchtmengsel in de cilinders samengeperst en tot ontbranding gebracht, waardoor de zuiger omlaag gedrukt wordt en de Schroef via de krukas wordt aangedreven. In de turbostraalmotor (B) zuigt de compressor lucht aan die onder druk in de verbrandingskamer tot ontbranding gebracht wordt. De energie van de expanderende hete lucht wordt voor een deel gebruikt om via een turbine de compressor aan te drijven. De rest van de energie wordt omgezet in de energie van een stuwsstraal, die voor de voortstuwing zorgt. Bij een turboschroefmotor (C) drijft de turbine niet alleen de compressor, maar ook een luchtschroef aan. Bij de turbofan (D en I-2) wordt een deel van de lucht via de fan, dus onder druk, om de verbrandingskamer heen geleid. Deze lucht draagt bij aan de voortstuwing.

I-3. Het rendement van motoren hangt af van de vliegsnelheid. Dat van straalmotoren neemt gestaag toe bij hogere snelheid. Schroefvoortstuwing is rendabeler bij snelheden tot $600 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, daarna daalt η als gevolg van samendrukbaarheidsverschijnselen in de stroming rond de schroefbladen.

telde veelbladige fan, met één of meer bladkranzen. Een deel van de aangezogen lucht wordt naar de verbrandingskamer geleid en drijft via de turbine(s) de compressor en fan aan. Een ander, vaak groter deel wordt na de fan om de verbrandingskamer en turbine(s) geleid en draagt op die manier bij aan de voortstuwing.

Een belangrijk kenmerk van de voortstuwingssystemen is de omloopverhouding λ , de verhouding van de koude luchtstroom die wordt versneld tot de luchtstroom die door de verbrandingskamer stroomt. Naarmate λ groter is, neemt de massa m toe en wordt het voortstu-

wingsrendement η (bij gelijke stuwkraag en vliegsnelheid) groter. Afbilding I-3 geeft η als functie van de vliegsnelheid. De luchtschroef versnelt een grote massa m en heeft bij vliegsnelheden tot $600 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ een hoog rendement. Daarna daalt het rendement door de schokgolfverliezen als gevolg van de nadering van de geluidssnelheid. Bij zuivere straalmotoren is m relatief klein doch de straalsnelheid w vrijwel constant, zodat het voortstuwingssrendement bij toenemende snelheid groter wordt. Bij dubbelstroomstraalmotoren is het rendement bij dezelfde snelheid hoger door de grotere massa m .

van de hoeveelheid omlooplucht en de hoeveelheid lucht die wordt verbrand – 1 à 1,5, bij de nieuwe motoren is deze ongeveer 5. Een tweede belangrijk voordeel is het veel lagere geluidsniveau, waardoor de geluidshinder rond luchthavens drastisch kon afnemen.

Na de 747 volgden de wat kleinere Douglas DC-10 en Lockheed Tristar, beide driemotorige machines voor maximaal 350 passagiers. Alle drie typen worden *wide-bodies* genoemd, omdat ze een brede romp hebben en in de kajuit negen à tien stoelen op een rij naast elkaar staan, met daartussen twee gangpaden in plaats van één. De brede romp geeft ook ruimte voor een grote hoeveelheid vracht onder de vloer van de kajuit.

Ook de Europese vliegtuigindustrie wierp

zich in de jaren zeventig met succes op de markt voor grote verkeersvliegtuigen met de Airbus A300. Dit toestel kan 250-350 passagiers over korte en middellange afstanden vervoeren en is ontwikkeld door een Frans-Duits-Engels samenwerkingsverband (Aerospatiale, Messerschmidt-Bölkow-Blohm, British Aerospace).

Gevolgen van de brandstofcrisis

In 1973 stegen de prijzen van aardolieproducten fors door een actie van de OPEC-landen. Gevolg was dat de brandstofkosten een steeds groter aandeel in de exploitatiekosten van een opeisten. Daardoor kreeg men in luchtvaartkringen steeds meer aandacht voor brandstof-

9 en 10. In de Europese Airbus A-320 (10) zijn de moderne avionica-technieken zoals het 'fly-by-wire' vliegen zeer ver doorgevoerd. Een gevolg daarvan is dat het instrumentarium in de stuurhut veel overzichtelijker is, dan in

een 'klassiek' vliegtuig. De piloot kan nu naar behoefte vluchtinformatie uit de boordcomputer op beeldschermen oproepen. Let ook op het kleine zijwaarts geplaatste stuurknuppeltje.

9



beperkende maatregelen, zowel bij nieuwe typen als bij bestaande modellen.

De resultaten daarvan werden zichtbaar in een nieuwe generatie tweemotorige straalverkeersvliegtuigen voor korte en middellange afstand, die aan het eind van de jaren zeventig verscheen: de Boeing 757 en 767 en de Airbus 310. Uiterlijk lijken deze vliegtuigen sterk op hun voorgangers, maar ze bevatten een groot aantal verbeteringen die meestal ook tot grote brandstofbesparingen leiden. Zo werden voor het eerst superkritieke vleugelprofielen toegepast. Deze profielen zorgen ervoor dat het optreden van schokgolven wordt voorkomen bij snelheden even onder de geluidssnelheid – de kruissnelheid van deze toestellen – waardoor een efficiënter vleugelontwerp mogelijk is.



12

10



11



11. Een ontwerp voor een vliegtuig met Unducted Fan is de Boeing 7J7. Bij deze motoren drijven twee tegen elkaar in draaiende turbines niet alleen de compressor, maar ook de luchtschroeven aan.

12. Onlangs heeft een onderzoeker van NASA een computerprogramma ontwikkeld, waarmee de luchstromen in een straalmotor gesimuleerd kunnen worden. Het programma vergt circa 100 rekenuren op een supercomputer. Met zwart zijn de turbinebladen aangegeven; de kleuren geven de temperaturen van het doorstromende gasmengsel.



13

Daarnaast zijn de motoren verder verbeterd en werd door toepassing van nieuwe materialen, vooral versterkte kunststoffen, een gewichtsvermindering gerealiseerd in onderdelen als vleugelkleppen, staartvlakken, motorgondels en vloeren.

Een bijzondere bijdrage aan de beoogde besparingen wordt geleverd door vernieuwingen in de instrumentatie van de stuurhut. Een groot deel van de instrumenten met hun veelvoud aan 'klokjes' werd vervangen door computers en beeldschermen die het mogelijk maken selectief een groter aantal gegevens omtrent de vluchtomstandigheden te presenteren. Dit komt niet alleen de efficiency, maar ook de veiligheid ten goede. Daar komt bij dat de cockpitbemanning van drie naar twee kan worden teruggebracht.

Dit is één van de gevolgen van de ontwikkeling van de *avionica*, de toepassing van informatica, computers en micro-elektronica in de luchtvaart. De nieuwe Airbus 320 is op dit gebied wel het meest geavanceerde type. Het conventionele hoogtestuur met stuurwiel voor de vlieger is hier vervangen door een klein stuurnuppeltje (sidestick) naast de stoel van de piloot. De stuursignalen worden elektrisch overgebracht naar de hydraulische cilinders die de roeren bedienen. Men spreekt hier van het *fly-by-wire-concept*. Ook de Fokker 100

heeft een aantal geavanceerde toepassingen van de avionica. Bij deze systemen kan de vlieger gedurende vrijwel de gehele vlucht voor een automatische besturing kiezen, waarbij het te volgen traject met minimaal brandstofverbruik, minimale bedrijfskosten of minimale vliegtijd wordt afgelegd.

De voortstuwing van de vliegtuigen loopt als een rode draad door dit overzicht. Ook op dat terrein wordt hard gewerkt aan nieuwe concepten, zoals de *Propfan* en de *Unducted Fan* (UDF), waarbij vrije schroeven worden toegepast. Bij de zogenaamde *Super Fan* worden nog hogere omloopverhoudingen toegepast en is als het ware sprake van ommantelde schroeven. Men denkt de Propfan en UDF het eerst te gaan toepassen in middelgrote verkeersvliegtuigen. Op basis van het UDF-concept heeft Boeing de 7-J-7 ontworpen en McDonnell-Douglas de MD 91 en 92.

Superson

Eén ontwikkeling in de recente geschiedenis van de burgerluchtvaart is nog buiten beschouwing gebleven: het vliegen sneller dan het geluid. Reeds in het begin van de jaren zestig, toen de Boeing 707 en de DC-8 volop in bedrijf kwamen, bestond het idee dat een verdere halvering van de reistijden door toepassing van



14

supersonice vliegtuigen, de volgende fase zou zijn. De ontwikkeling van de Brits-Franse Concorde was hierop gericht. Na jarenlange ingespannen arbeid en baanbrekend ontwikkelingswerk deden de eerste Concordes in 1976 hun intrede in het transatlantische luchtverkeer.

Toch is het supersonice transport niet de doorbraak geworden die men in de jaren zestig voorzag. De Concorde blijft voorlopig het enige supersonice type, nadat de Amerikaanse en Russische vliegtuigindustrie hun ontwikkelingswerk op dit gebied staakten. Het supersoon vliegen bleek namelijk een paar ernstige nadelen te hebben. De sonische knallen maken dat supersonice snelheden alleen boven zee en boven onbewoonte gebieden aanvaardbaar zijn. Daarnaast bestaat vrees voor aantasting van de ozonlaag door de uitlaatgassen van de motoren, gezien de hoogte van 16 km waarop deze toestellen vliegen. Tenslotte speelden de gestegen brandstofkosten een rol: door de schokgolven die de supersonice knal veroorzaakten is de weerstand van het vliegtuig in supersonice vlucht – zelfs bij de beste aerodynamische vormgeving – hoger dan in subsone vlucht. De brandstofeconomie is daardoor veel ongunstiger.

De ontwikkeling van een nieuw supersoon vliegtuig zou grote investeringen vergen, ter-

wijl de behoefte aan een dergelijk vliegtuig thans niet duidelijk aanwijsbaar is. Sommigen menen dat de toekomst ligt in hypersone vliegtuigen, die op een hoogte van circa 40 km, dus in een zeer ijle atmosfeer, met een snelheid van acht tot twaalf maal die van het geluid vliegen. Dergelijke vliegtuigtypen zouden worden gebaseerd op de techniek van nieuwe lanceervoertuigen voor de ruimtevaart, waarbij in de opstijgbaan gebruik wordt gemaakt van luchtgebruikende motoren. Als hypersone verkeersvliegtuigen ooit werkelijkheid worden, zal dit echter pas in de volgende eeuw zijn.

13. Een impressie van het voorlopig nogal futuristische National Space Plane, volgens sommigen het lange-afstandsverkeersvliegtuig van de 21ste eeuw.

14. De toepassing van vezelversterkte kunststoffen is één van de manieren waarop vliegtuigen lichter en dus rendabeler kunnen worden gemaakt. Hier afgebeeld is het verticale staartvlak van een Airbus A-310, dat geheel van kunststof is en daardoor 20% lichter dan in een metalen uitvoering.

Literatuur

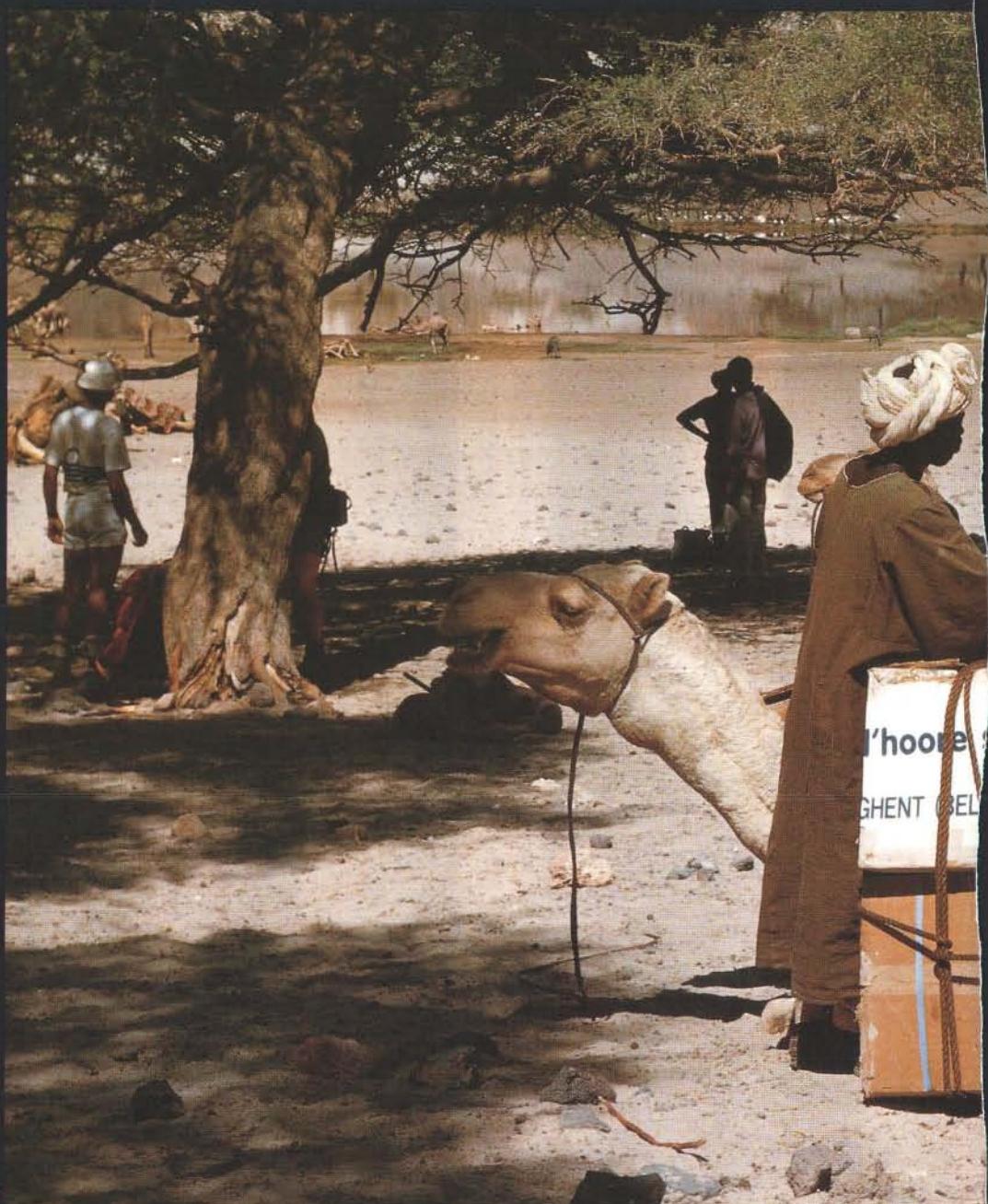
Elsenaar A. Vliegen in stroperige lucht. Natuur & Techniek 1987: 55; 11, 880-891.
Fokker 100 getest. Natuur & Techniek 1988: 56; 5, VI-VII.

Bronvermelding illustraties

Marc Solomon/Image Bank, Amsterdam: pag. 722-723.
Thijs Postma, Hoofddorp: 1, 2.
Bart van der Klaauw, Leiden: 3, 4, 1-2.
Picturebox, Amsterdam: 5.
The Boeing Company, Seattle, WA: 6, 11.
Fokker, Amsterdam: 7, 8.
Airbus Industrie, Toulouse: 9, 10, 14.
NASA-Ames Research Centre, Moffit Field, CA: 12, 13.

Onderzoek bij een kratermeer in Soedan houdt onder andere in dat de benodigde apparatuur over grote afstanden aangevoerd moet worden. Ons materiaal werd vanuit België naar Khartoum gevlogen en van daar met twee vrachtwagens in een rit van

vier dagen naar Malha gebracht. Voor de laatste etappe bewezen kamelen goede diensten. Deze dieren zijn nu eenmaal eigen aan het huidige Sahelklimaat. Toch viel hier ooit voldoende regen om de rivieren van water te voorzien.



SCHELPEN in de SAHEL

KLIMAATONDERZOEK IN MEERBODEMS



De Sahel is berucht om de er heersende droogte en de hongersnoden die daar het gevolg van zijn. Geen plaats waar je brede rivierbeddingen, ophopingen van riviergrind en zoetwaterschelpen zou verwachten. Toch zijn die er volop. Zij bewijzen dat deze streek lang gedeeld een voch-

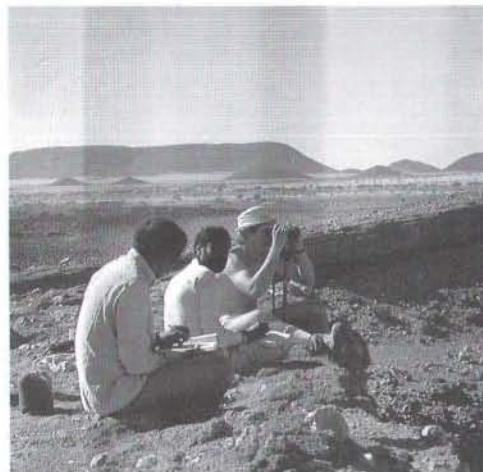
tig klimaat had, waardoor het land groen en vruchtbaar was. Het klimaat op aarde is geen vast gegeven. Het verandert over perioden van duizenden jaren. Onderzoek van bijvoorbeeld afzettingen op de bodem van meren kan veel informatie verschaffen over de veranderingen die zich op een bepaalde plaats hebben voorgedaan. In Sudan is deze benadering met succes toegepast bij een poging te weten te komen hoe droog de Sahel vroeger was.



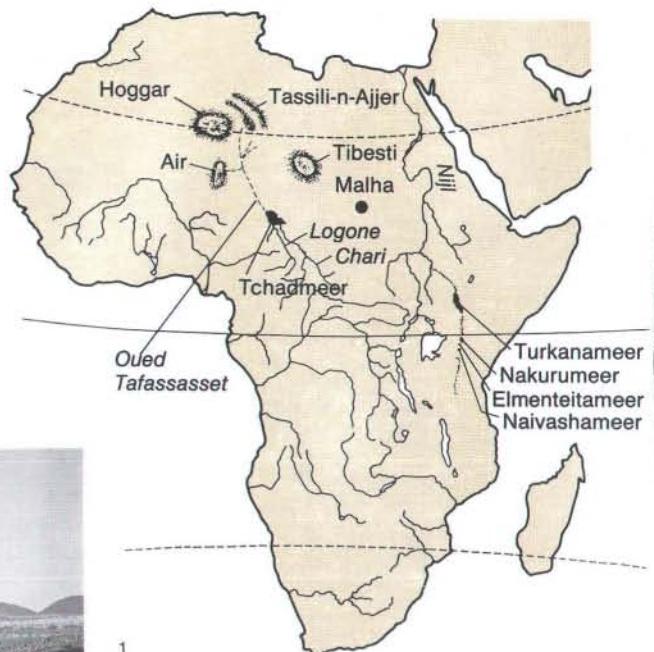
H.J.F. Dumont
*Laboratorium voor
Ecologie der Dieren,
Zoögeografie en Natuurbehoud
Rijksuniversiteit Gent*

1. Op deze kaart van Afrika zijn alle meren, berggebieden en rivieren aangegeven, die verder in de tekst ter sprake komen.

2. De eerste wetenschappelijke activiteit van de onderzoekers bij het Malhammeer, was het exact in kaart brengen van de krater. Daarbij werd gebruik gemaakt van een geavanceerde lasertelemeter.



2



1

3. Op deze kaart van Sudan zijn de hydrografische relaties tussen de Nijl en Darfur weergegeven. Tevens is de Darb-el-Arbain tussen Asyut en El Fasher aangegeven. Darb-el-Arbain betekent 'veertig-dagenweg' en wordt zo genoemd omdat het zo

veel tijd kostte om haar met een karavaan af te leggen. In tijden dat de Wadi Howar en Wadi-el-Milk stromende rivieren waren, hebben Nijlvölkeren zich waarschijnlijk langs deze rivieren gevestigd en er primitieve steden gebouwd.

De ontdekkingsreizigers die in het begin van de vorige eeuw als eersten door de droge gebieden van Noord-Afrika trokken, moeten met stomheid geslagen zijn geweest bij het zien van droge rivierbeddingen, ophopingen van riviergrind en droge meerbeddingen, bedekt met dikke lagen zoetwaterschelpen. Voor sommigen was dit een bewijs voor de bijbelse zondvloed: eens was het hele gebied overstroomd geweest en nadien langzaam maar onomkeerbaar uitgedroogd.

In het midden van de vorige eeuw werd de ijstijdtheorie uitgewerkt. Daarin werd gesteld dat de gletsjers in Europa gevormd werden door overdaadige sneeuwval. Was het dan niet logisch te veronderstellen dat hiermee in het zuiden een regentijd overeenkwam? Archeologen en paleolimnologen, onderzoekers die zich

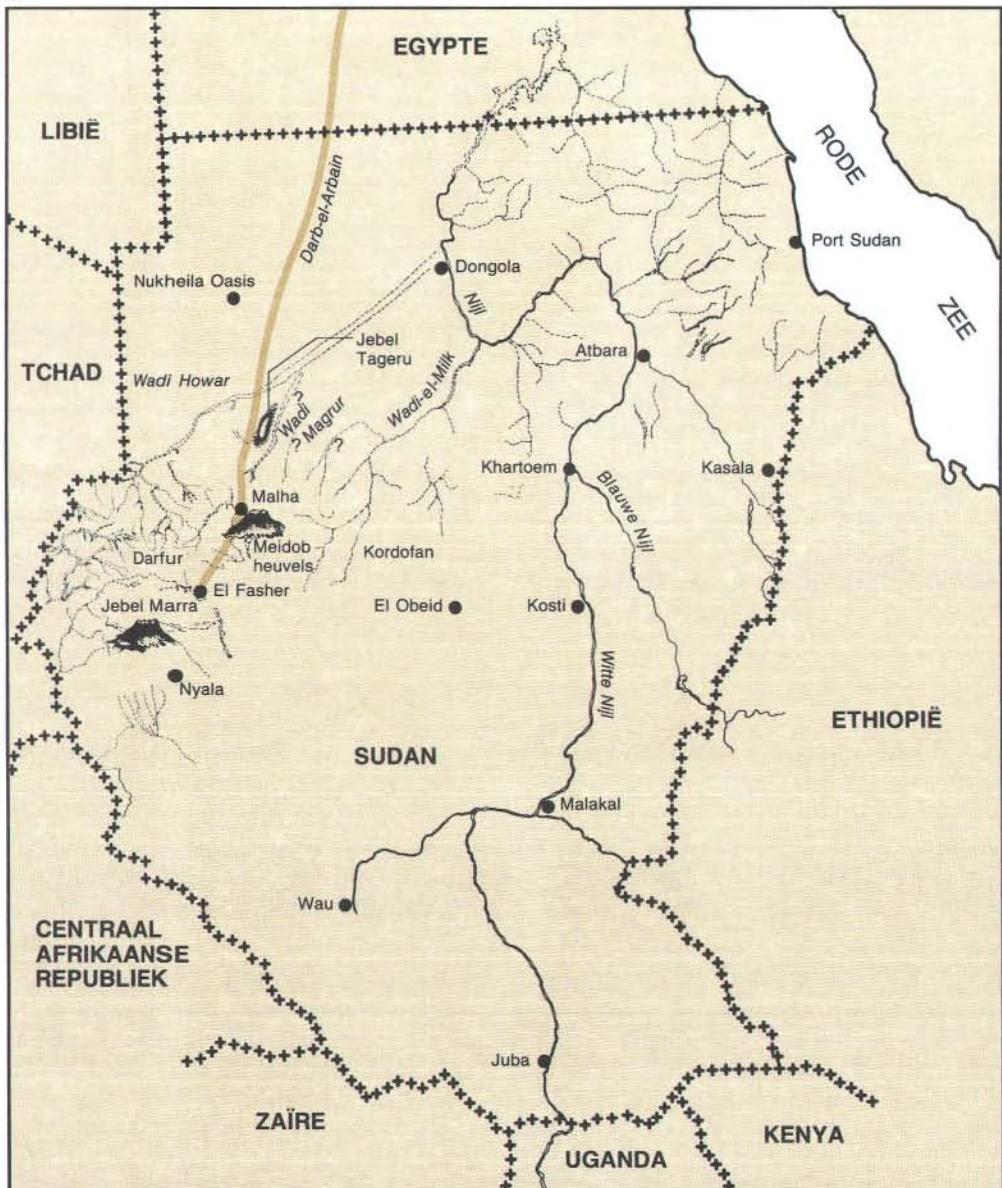
bezighouden met meersedimenten, hebben deze verklaring aan het eind van de jaren zestig van deze eeuw weerlegd. Zij ontdekten dat praktisch geheel Afrika op het hoogtepunt van de laatste ijstijd een aride (droog) tot hyperaride klimaat had. De verklaring lag voor de hand: tijdens een ijstijd is het oceaanwater afgekoeld. Daardoor is er minder verdamping en ontstaat dus minder neerslag. Bovendien daalde de zeespiegel en nam de oppervlakte van het zee-ijs aanzienlijk toe, waardoor het oppervlak waar verdamping zou kunnen optreden, afnam. Zoals de gletsjers in Europa groeiden, groeiden de woestijnen in Afrika tot zij de hele Sahel en de Oostafrikaanse savanne opgesloten hadden. Het tropisch regenwoud werd gereduceerd tot enkele geïsoleerde boseilanden op de flanken van bergen.

Het begin van het geschommel

Omstreeks 13 000 BP (before present) begon een grote klimatologische ommekeer: de tropische en subtropische oceanen warmden in snel tempo op, waarbij veel neerslag ontstond, en die opwarming schoof poolwaarts. Ongeveer vijfhonderd jaar later viel daardoor in tropisch

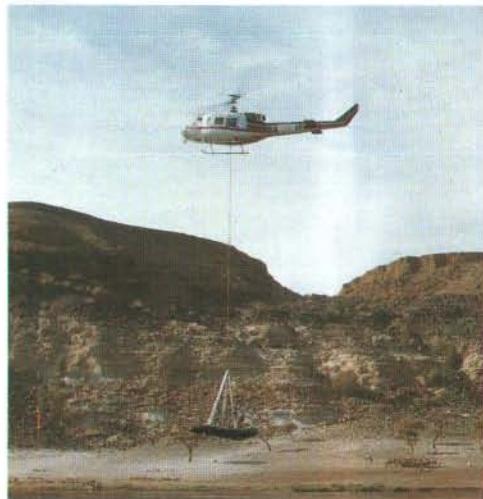
Afrika zoveel neerslag dat het waterpeil in de grote meren bij de evenaar, voordien verschaald tot poelen, sterk steeg. Rond 10 000 BP werden recordstanden bereikt. Het Turkameer en het Nakurumeer in Kenia begonnen noordwaarts af te wateren naar de Nijl. Deze rivier was tot dan toe niet meer geweest dan een parelsnoer van ondiepe plassen.

3



4. Voor het uitvoeren van de sedimentboring werd een op een rubberboot gemonteerde boortoren met behulp van een helikopter midden op het meer geplaatst.

5. Prachtig weerspiegelt de kraterwand in het water van het meer. Aan de oever rechts is het water paars van kleur. Die kleur wordt veroorzaakt door grote vellen samengekoekte purperbacteriën. Langs de rand van het meer bevinden zich enkele zoetwaterbronnen, waar nomaden hun dieren drinken.



4



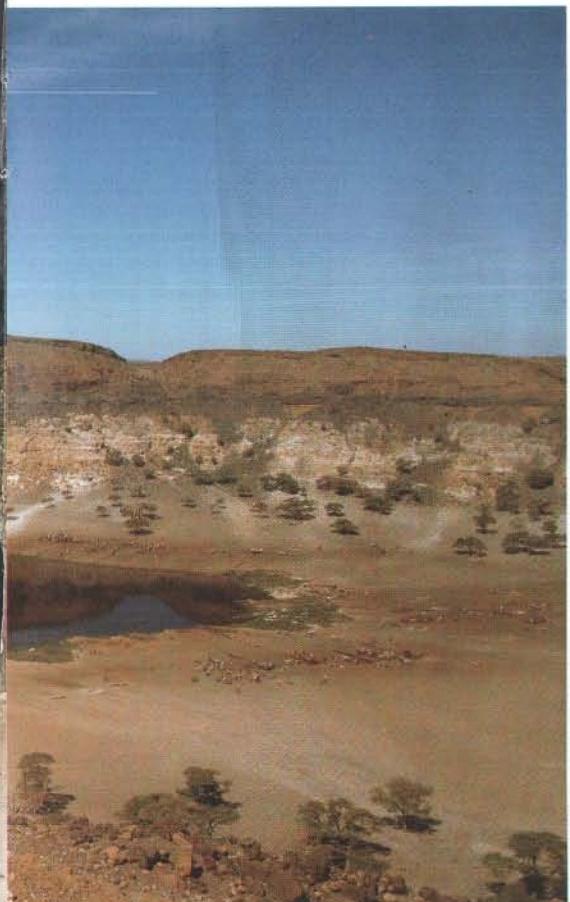
5

Op het Oostafrikaanse plateau kwamen open bossen tot ontwikkeling. Langs permanente rivieren drongen galerijwouden tot ver in de huidige Sahel door. De Sahara was een open savanne, met steppebegroeiing in de droogste delen en bossen in gebergten als de Tibesti, de Hoggar en de Aïr. Op het Tassili-n-Ajjer-plateau deed de koelte cypressen gedijen, waarvan vandaag nog een vijftigtal duizend jaar oude exemplaren overleven. In een diepe canyon in ditzelfde gebied, uitgesleten door een zijrivier van de grote Oued Tafassasset, hield een kleine populatie nijlkrokodillen het tot het begin van deze eeuw vol, als levende bewijzen van deze vochtige periode. Het laatste exemplaar werd in 1924 door een Franse militair doodgeschoten. Deze vochtige periode, die het hele gebied tussen evenaar en Mid-

dellandse Zee omvatte, duurde tot 7000 à 8000 jaar geleden. Daarna ging het klimaat plots schommelen. Bovendien ontstonden grote regionale verschillen, zowel in de noord-zuidrichting als van oost naar west. Veel vragen hieromtrent bleven tot in 1985 onbeantwoord.

Een kratermeer in Sudan

Om nadere studie van die klimaatschommelingen te maken vertrok ik eind 1985 met een team van limnologen en technici van de Belgische strijdkrachten naar het kratermeer in Malha in het vulkanische Meldobland van Noord-Darfur in Sudan. De keuze voor juist dit zoute meer werd zowel bepaald door de ligging, als door de aard ervan. De ligging is strategisch omdat de *isohyet* van 100 mm er rake-



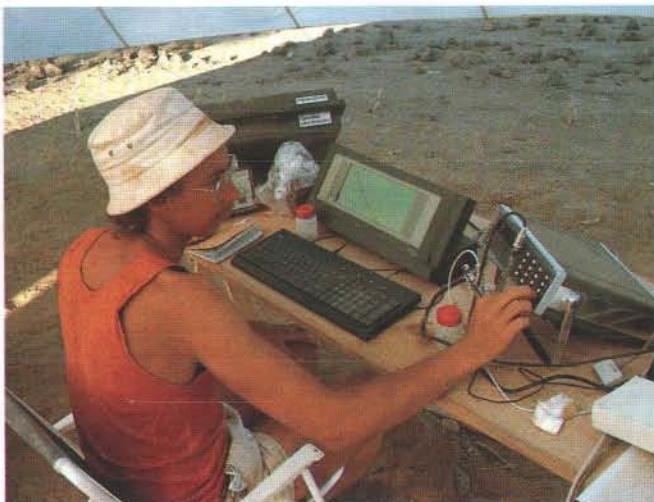
6. Het laboratorium bevond zich in een tot tent verbouwde parachute. Dank zij een draagbare computer konden allerlei meetgegevens onmiddellijk verwerkt worden. Het kleine apparaat rechts is een ionenmeter die werd gebruikt om de pH en andere chemische karakteristieken van het meerwater te meten.

lings langsscheert. Isohyet is de aanduiding voor een denkbeeldige lijn die punten met gelijke hoeveelheden neerslag met elkaar verbindt. Nu geldt de 100 mm-isohyet als de grens tussen woestijn en Sahel. Bij iedere klimaatsfluctuatie, hoe klein ook, zal die grens over het meer geschoven zijn en sporen van de daarmee samenhangende veranderingen zouden in de sedimenten van het meer terug te vinden moeten zijn.

De krater heeft boven dien het voordeel dat het een klein en hydrologisch netjes begrensd stroomgebied is. Het meer wordt gevoed door de neerslag en door grondwater. Variaties in de waterstand zijn derhalve uitsluitend een gevolg van wisselende hoeveelheden neerslag ter plekke. Zou het meer ook gevoed worden door een rivier, dan zouden variaties in de neerslag langs het hele stroomgebied van die rivier van invloed zijn op de waterstand in het meer. Bovendien verandert het verdampingsoppervlak van een kratermeer niet noemenswaardig als het waterpeil stijgt of daalt.

Het hoeft ons dan ook niet te verwonderen dat vergelijkbare klimaatreconstructies, die zijn gemaakt voor grotere en deels door rivieren gevoede meren als het Tchadmeer en het Turkanameer, niet perfect met onze resultaten overeenstemmen. Niettemin zijn ondanks alle verschillen, de 'grote perioden', waar we nog over komen te spreken, in alle drie meren terug te vinden (zie afb. 11).

6

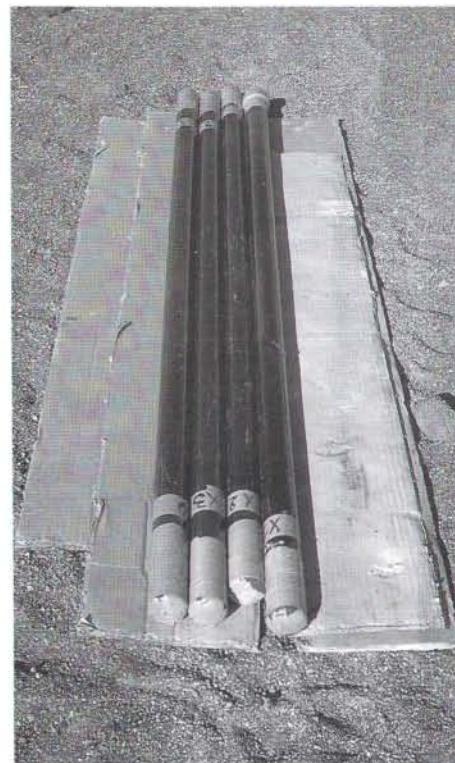


Onderzoek van meersedimenten

De krachtigste methode die ons ter beschikking staat voor de reconstructie van het klimaat van duizenden jaren terug, is het onderzoek van een meersediment. Men kan een meer beschouwen als een gesloten leefwereld, een soort microkosmos, die een getrouwe weergave is van het plattelijke klimaat.

De organische materie die in de waterkolom wordt geproduceerd, zakt uit naar de bodem en wordt hier grotendeels afgebroken. Voor een deel wordt het materiaal door levende wezens weer opgenomen, maar voor een deel fossiliseert het in het sediment. Vooral skeletdelen van planten (de kiezelskeletten van diatomeën en ingewaaid pollen) en van dieren (kopschilden en schalen van watervlooien en mosselkreeftjes en mondelen van muggelarven) fossiliseren goed. Daarnaast vindt men in het sediment ook stabiele organische molekülen, zoals fotosynthetische pigmenten. Ook bepaalde vetzuren en sterolen zijn terug te vinden. Deze zijn vooral interessant omdat uit het aantal koolstofatomen is af te leiden of ze van algen, dan wel van hogere planten afkomstig zijn.

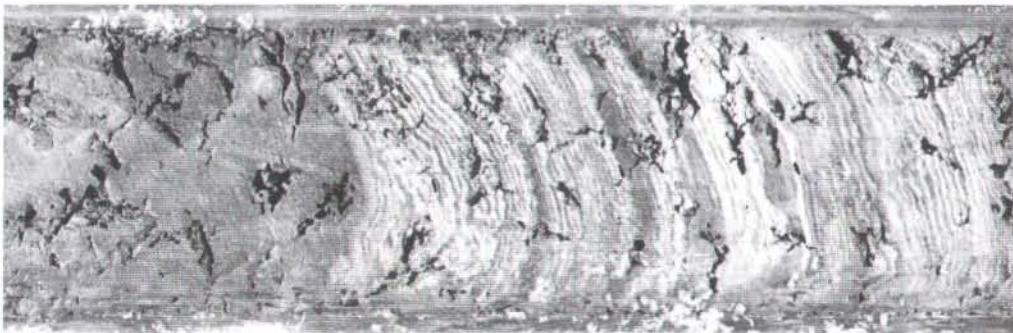
Veel plantaardige en dierlijke fossielen in het sediment kunnen thans tot op soortniveau gedeetermineerd worden en behoren, in de periode die wij hebben bestudeerd, bijna altijd tot nog bestaande soorten. Wanneer men weet welke eisen die soorten stellen met betrekking tot de tem-



I-1

I-1. Een aantal boorkernen met sedimentmonsters van de meerbodem liggen klaar om naar Gent gevlogen te worden.

I-2



peratuur en het zoutgehalte van het water in het meer, kan men aannemen dat ze geleefd hebben in een periode dat het milieu aan die eisen voldeed. Dit kan dan weer in termen van het klimaat vertaald worden.

Voor de temperatuur is dat eenvoudig; voor het zoutgehalte moet een omweg gemaakt worden via de hydrologische balans van het meer. In een meer met constant niveau moet jaarlijks evenveel water binnenkomen als verdwijnen:

$$I_n + I_r + I_g = U_v + U_r$$

waarin I_n , I_r en I_g de toevoer via respectievelijk neerslag, rivieren en grondwater voorstellen; U_v en U_r zijn de afvoer via verdamping en rivieren. In het geval van de Malhakrater is de formule eenvoudiger:

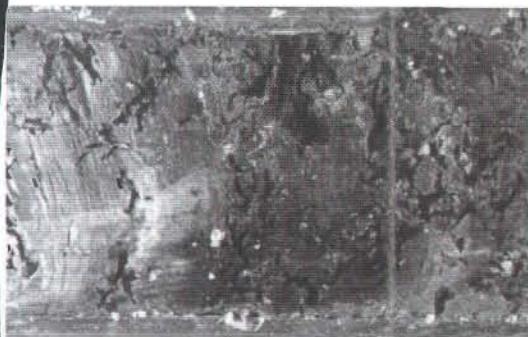
$$I_n + I_g = U_v$$

Wanneer een klimaatverandering plaats heeft verandert meestal niet alleen de temperatuur, maar ook de neerslag. Bij een hogere temperatuur en minder neerslag zal U_v toenemen, terwijl I_n daalt. Het niveau van het meer zal dalen en het zoutgehalte toenemen. Wanneer men nu in een sedimentlaag fossielen aantreft van zoutminnende soorten, is de conclusie dat ten tijde van de vorming van de laag een neerslagvermindering optrad. Worden de soorten bovendien meer aangepast aan hogere temperaturen, dan is dat een aanwijzing dat er woestijnvorming plaatsvond.

Naast dergelijke biologische indicatoren zijn in zoutmeren ook mineralen van groot gewicht. Naarmate er meer water verdampst, zullen steeds

meer verbindingen in oplossing hun verzadigingspunt bereiken en neerslaan in het sediment. Mineralogen kunnen uit de kristalstructuren die in sedimenten voorkomen nauwkeurig de milieumstandigheden die bij hun vorming heersten, reconstrueren. Dit vormt een controle op de biologische conclusies.

Wanneer men een kolom sediment uit een meerbodem heeft opgehaald en deze van centimeter tot centimeter heeft onderzocht, is het zaak de verschillende lagen te dateren. Voor lagen die jonger zijn dan 50 000 jaar kan men daarvoor de koolstof-14-methode gebruiken, mits de lagen voldoende organisch materiaal bevatten. In sommige gevallen is er echter een nog directere methode mogelijk, namelijk bij *meromictische meren*. Dit zijn meren die uit twee waterlagen met verschillende dichtheid zijn opgebouwd. De onderste (en zwaarste) laag is dan zotter, zuurstofloos en 'dood'. Alle uit de bovenste laag sedimenterende partikels worden hier permanent vastgehouden. Als de sedimentatie ongestoord verloopt – en dat is het geval wanneer er geen dieren op de bodem wonen die het sediment omwoelen – blijft de oorspronkelijke textuur van het sediment intact. Als het klimaat zo is dat er per jaar twee duidelijk verschillende seizoenen bestaan, ontstaan in de bodem jaarringen of *varven*. Tijdens een droog en heet seizoen kan door fotosynthese en verdamping carbonaat ontstaan, dat als een witte band neerslaat. In het koude en natte seizoen zal hoofdzakelijk puin van buitenaf inwaaien en ontstaat een donkere band. De sedimenten zijn dan eenvoudig te dateren door de jaarringen te tellen.



I-2. De sedimentmonsters werden verzameld in boorkernen. Nadat deze geopend waren en het monster in de lengterichting was doorgesneden werden zowel amorf als van varven voorziene sectoren zichtbaar. Varven zijn de 'jaarringen' in het midden. Ze ontstaan in een zoetwatermeer met een laag zout water op de bodem, bij klimaten die een droog en een nat seizoen kennen.

Eén van de eerste zaken die aan het Malha-meer bepaald werden, was de *hydrologische jaarbalans*, dat wil zeggen de waternaanvoer min de verdamping. Op grond van een topografische afbakening van het grondwaterreservoir onder het nabijgelegen vulkanisch plateau werd een schatting gemaakt van de jaarlijkse grondwatervoeding aan het kratermeer. Deze hydrologische factor is vooral in gebieden met weinig neerslag van cruciaal belang voor het voortbestaan van een meer, en onderhevig aan sterke lokale variatie. Uiteindelijk kon uit de hedendaagse hydrologische balans ook worden afgeleid welke hoeveelheden neerslag nodig waren om hogere waterstanden in het verleden te verklaren.

De belangrijkste activiteit tijdens ons verblijf was echter het nemen van een monster van het sediment van het meer. Daartoe hadden wij een klein boorplatform meegenomen, gemonteerd op een rubberboot. Met een spectaculaire operatie werd deze installatie door een helikopter op het meer gezet, waarna we met boren konden beginnen. Een holle buis werd als een soort appelboor in de meerbodem gedreven. Na drie weken was de boring voltooid en kon de 9,25 m lange buis, met daarin het sedimentmonster, opgehaald worden. Een vrachtvliegtuig van de Belgische luchtmacht vloog het naar Gent.

Dat de boring op 9,25 m stokte, was te wijten aan een geologisch curiosum: een lavastroom van een naburige vulkaan, de Jebel Soudur, was na een uitbarsting de Malhakrater ingelopen en had op de vloer ervan een dikke laag tuf achtergelaten. Ongetwijfeld ligt hieronder nog een stuk geschiedenis van het meer bedolven, doch de activiteit van de vulkaan heeft die voor ons ontoegankelijk gemaakt. Gelukkig toonde een koolstof-14-datering aan dat de uitbarsting ongeveer 8300 jaar geleden moet hebben plaatsgevonden, met andere woorden nog in de natte periode die voorafging aan de periode met klimaatshommelingen die wij wilden onderzoeken.

Zes klimaatfasen

De klimaatsreconstructie voor het gebied rondom de Malha-krater is gebaseerd op een studie van de vormingscondities van mineralen die in de bemonsterde sedimentkolom werden aangetroffen en een paleo-ecologische analyse

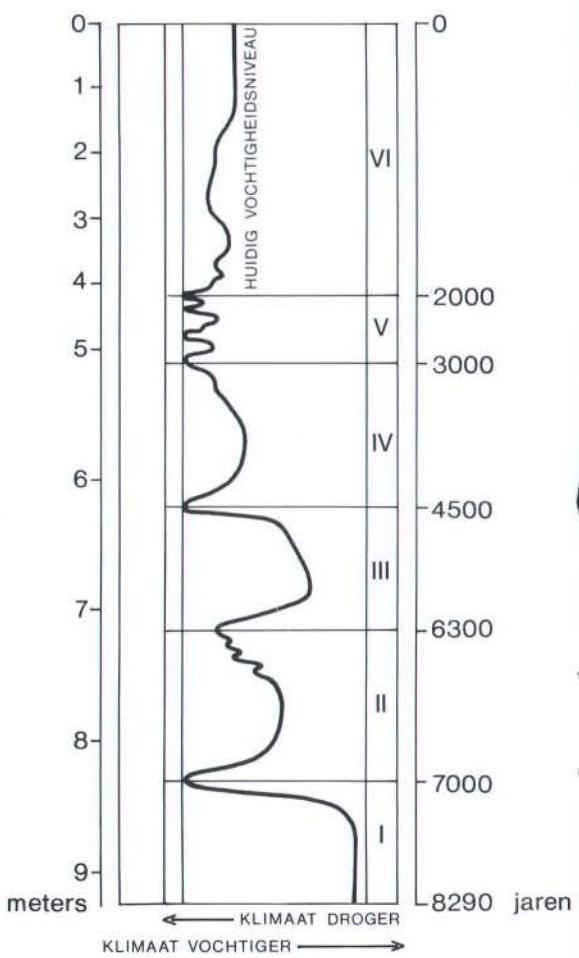
7. Reconstructie van het klimaat bij Malha, uitgaande van de informatie vervat in de sedimenten van het meer. Zes fasen kunnen worden onderscheiden, waarvan de eerste slechts gedeeltelijk in beeld is gebracht. Die eerste fase was tevens de vochtigste. De trend naar uitdroging na 6300 BP is duidelijk zichtbaar, evenals het feit dat tijdens fase V (3000 - 2000 BP) het klimaat in de Sahel duidelijk droger was dan vandaag.

8. Het 'levende' bewijs dat de nu droge Wadi Howar een stromende rivier was, zijn deze zoetwaterschelpen.

9. De resten van een oude ijzersmeltoven, die wij in de buurt van Seringeti vonden. De omgeving lag er bezaid met ijzerslakken.

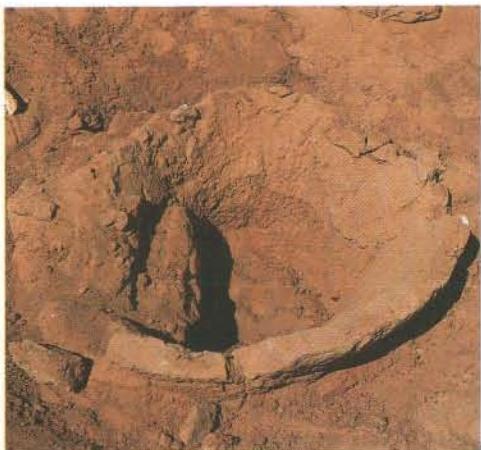
10. Bij Jebel Tageru, vlak bij de Darb-el-Arbain karavaanroute, werd dit merkwaardige rotsfresco aangetroffen: een gemengde karavaan, die gedeeltelijk uit kamelen, gedeeltelijk uit paarden of ezels was samengesteld. Dergelijke karavansen kwamen slechts korte tijd voor, namelijk bij het begin van de droogteperiode die vanaf 3000 BP optrad.

7

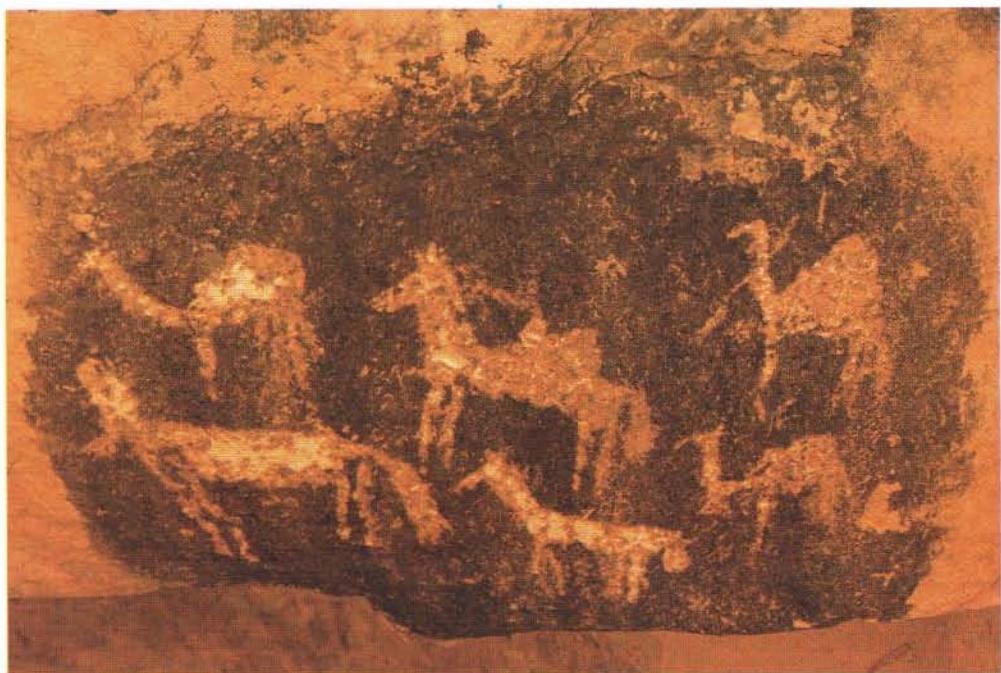




8



9



10

van de ingesloten dierlijke microfossielen (zie intermezzo). Op deze manier kunnen vanaf 8300 BP zes klimaatfasen worden onderscheiden.

Tijdens de eerste, de grote vroeg-Holocene vochtige fase, was Malha een zoetwatermeer dat minstens 20 meter dieper was dan de hooguit drie meter van nu. Hiervoor was een jaarlijkse neerslag van minstens 700 mm nodig.

Bovendien kwam in het meer 'Europees' plankton voor, microscopische diersoorten die thans niet meer in Afrika gevonden worden. Dat zou erop wijzen dat de winters toen koeler waren dan nu en dat wellicht de neerslag zowel uit het zuiden als uit het noorden afkomstig was. Omstreeks 7000 BP trad een kortstondige, enkele eeuwen durende intense droogte in, waardoor het meer tijdelijk uitdroogde. Daar-

na herstelde het vochtige klimaat zich, al was tot 6300 BP sprake van regelmatig optredende perioden van droogte.

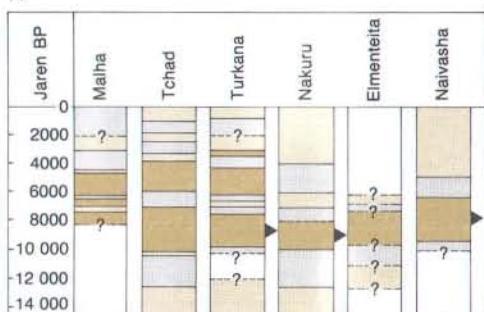
De derde fase was een vrij lang, nat interval dat echter afsluit met een nieuwe plotse uitdroging van het meer omstreeks 4500 BP. Tot en met deze fase was het meer overwegend *meromictisch*, waarbij een laag zoet water bovenop een bodemlaag van zout water bij de bodem lag. In het sediment uit deze perioden zijn duidelijk varven zichtbaar. Varven zijn vergelijkbaar met jaarringen bij bomen. In een klimaat met een nat en een droog seizoen (of een koud en een warm seizoen) kan men de opeenvolgende jaren als dunne laagjes van elkaar onderscheiden, tenminste wanneer het sediment niet is omgewoeld. Er zijn veel aanwijzingen dat in deze periode alleen zomerregens vielen.

In meersedimenten uit echt equatoriale gebieden is deze fase niet terug te vinden, wel in noordelijker gelegen meren als het Tchadmeer.

De plotse droogte van 4500 BP verdween weer even snel als ze gekomen was, al zijn de volgende perioden niet meer zo nat als de eerste en de derde.

Omstreeks 3000 BP eindigt de relatief vochtige vierde fase en begint de vijfde, die tot 1800 BP zal duren en zeer droog is. De zesde fase is er een van relatief herstel, hoewel wij niet meer aan de condities van de vierde fase toekomen. Dat laatste is interessant: het betekent immers dat de Sahel de afgelopen 18 eeuwen niet droger maar vochtiger is geworden. Dat houdt in dat alleen menselijk handelen de huidige verloedering van het gebied veroorzaakt kan hebben.

11



Hoge meerstanden

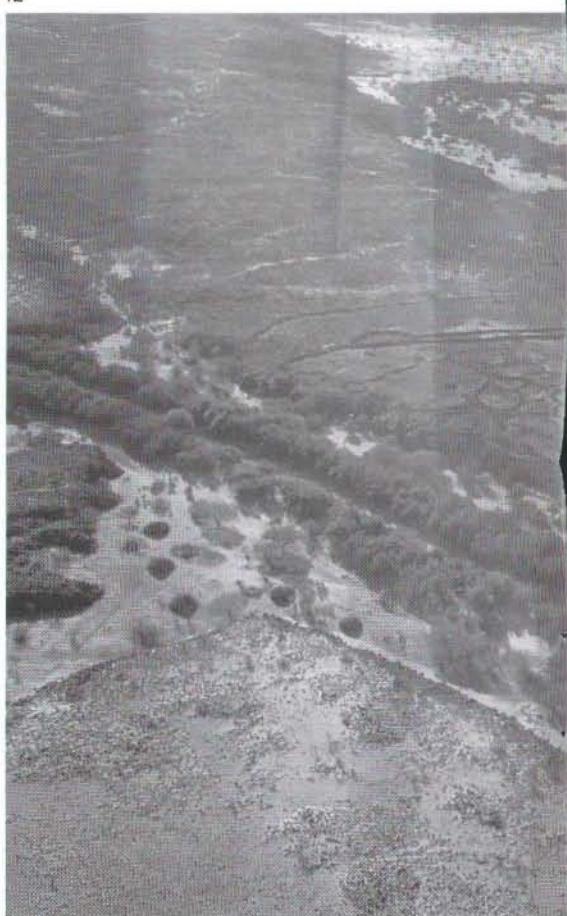
Middelmatige meerstanden

Lage meerstanden

11. Een vergelijking tussen de klimaatreconstructies afgeleid uit paleolimnologisch onderzoek van een aantal Afrikaanse meren. De natte periode vroeg in het Holocene is overal terug te vinden (pijlen). Na een droog interval tussen 7000 en 6000 BP volgt ten noorden van de evenaar een vochtige periode. Na 4000 BP ontstaan grote verschillen tussen deze ver van elkaar liggen- de meren.

12. Een luchtfoto van Seringeti. De nederzetting lag op een basaltplateau in de bocht van een droge rivier. De loop daarvan is te herkennen aan het zogenoemde galereibos. In Seringeti zijn de restanten van ronde kraalen zichtbaar.

12



Klimaat en bewoning

Tijdens ons verblijf in Malha voerden wij helikopterverkenningen uit in een straal van zowat 250 km rond de krater. Hierbij werd door Poly Stevens, mede-organisator van de expeditie, en mijzelf een vijftal stenen stadscomplexen ontdekt, waarvan één vlakbij de krater.

De meest noordelijke stad, door de lokale nomaden Seringeti genoemd, bevindt zich ter hoogte van de isohyett van 50 mm en kijkt uit op een gigantische zandvlakte. De stad ziet eruit als een militair bolwerk waar vee in veiligheid gebracht werd tegen overvallen van vijandelijke nomaden. Wij vonden er tal van uit steen gehakte voorwerpen, graven en even buiten de stad ook een smeltoven voor metaal. Uit de lucht waren duidelijk ook oude landbouw-

percelen te zien. De woningen, zowel hier als in de andere steden, waren rond en af en toe gegroepeerd in kralen.

Hoe oud zijn deze ruïnes? Een blik op afbeelding 1 kan helpen om een antwoord te bedenken.

Duidelijk is dat de afgelopen 3500 jaar niet de milieucodities boden, die voor stadsontwikkeling geschikt zijn. Wanneer wij echter voor ogen houden dat gigantische bouwwerken zoals de piramide van Cheops, omstreeks 4600 BP gebouwd werden, is het niet ondenkbaar dat in Noord-Sudan primitieve stadsgemeenschappen konden ontstaan tijdens de derde klimaatfase. Volgens vroege Egyptische bronnen bestond er in die tijd een belangrijke handelsroute, de Darb-el-Arbain, tussen Egypte en Noord-Sudan, die bij Asyut de Nijlvalei verliet en Malha aandeed. De handel werd aanvankelijk gedreven met ezelkaravannen, maar naarmate de verdroging voortschreed werd ter vervanging de kameel ingevoerd. Ten noorden van Seringeti, in het bergmassief van Jebel Tageru, troffen we een rotstekening aan die een gemengde paard- (of ezel) en kameelkaravaan voorstelt (afb. 10). Daarnaast weten we dat de kameel ongeveer 3000 jaar geleden uit Azië in Egypte werd ingevoerd. Dit klopt te mooi met het begin van de droge vijfde periode om toeval te kunnen zijn.

Een extra aanwijzing voor de ouderdom van deze steden is het volgende. Malha en andere dode steden in dit gebied liggen in het stroomgebied van de nu uitgedroogde Oued Magrur, een zijrivier van een rivier die in de Nijl uitmondt. In de vochtige klimaatperioden stroomde er altijd water door deze rivieren. Waarschijnlijk zwiermden Nijlbewoners over de valleien van die rivieren uit en bouwden zij er steden. Toen het daar vervolgens te droog werd, trokken zij weer naar het Nijldal.



Literatuur

Dumont H, Stevens P. Soedan – Een wetenschappelijk en archeologisch avontuur. Den Haag: Simon en Antwerpen: C. de Vries-Brouwers pbva, 1987.

Bronvermelding illustraties

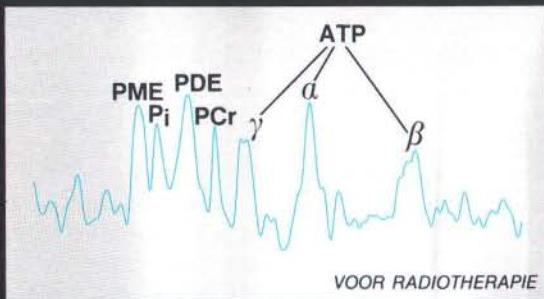
Alle foto's zijn afkomstig van de auteur.

NMR AAN CELPROCESSEN

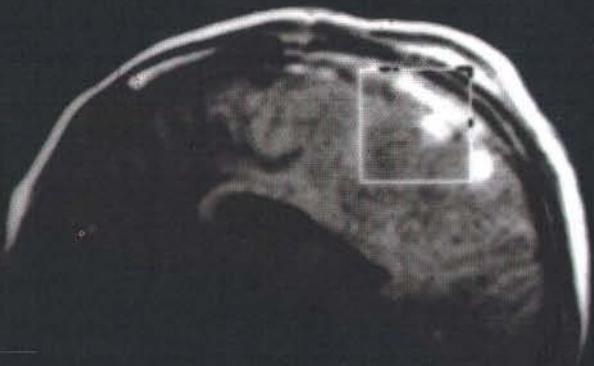
P.R. Luyten
Philips Medical Systems
Best

Kernspinresonantie, of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) is voor chemici en fysici al jaren een onmisbaar hulpmiddel bij het vaststellen van molekulaire structuren. Van een werkelijk grootschalig gebruik van NMR-machines is echter pas de laatste jaren sprake, door de opmars ervan binnen de medische diagnostiek. NMR als beeldvormende techniek, naast röntgenscanners en apparaten die op basis van ultrasoon geluid werken, is inmiddels al bekend. In het vorige nummer van Natuur & Techniek staat een artikel over beeldvorming met NMR. De laatste jaren staat echter ook de 'ouderwetse' NMR-spectroscopie sterk in de belangstelling van de medische wereld.

Door de grote verbeteringen aan de apparatuur blijkt het mogelijk spectroscopie te bedrijven aan levende organismen. Sommige stofwisselingsprocessen in het lichaam zijn nu 'van buiten af' te volgen zonder ze te verstören.



NMR-spectroscopie biedt de mogelijkheid om snel na bestraling van een kankergezwel informatie te krijgen over het effect van de behandeling. Dit gebeurt door op de plaats van het carcinoom de concentratie van een aantal stofwisselingsprodukten te bestuderen. De spinabsorptieopname rechtsboven toont de hersenen van een patiënt die leed aan een lymfoom, een kwaadaardige tumor van het lymfesysteem. Het spectrum links daarvan is een typisch beeld voor een hersentumor: er zijn forse pieken (PME, Pi, PDE), die duiden op veel afbraakprodukten van celmembranen. Na de bestraling is niet alleen de NMR-afbeelding veranderd (rechtsonder), ook het spectrum geeft een normaler stofwisselingsbeeld te zien: de piek afkomstig van fosforcreatine (PCr) is in hoogte hersteld en de pieken van de membraanafbraakprodukten links daarvan zijn verlaagd.



Kernspinresonantie voor beeldvorming en voor spectroscopie maakt in principe gebruik van dezelfde eigenschap van de materie. Het gaat hier om het quantummechanische gegeven dat protonen en neutronen, de deeltjes waar de atoomkernen uit bestaan, een *kernspin* bezitten. Zitten twee protonen met elkaar in één kern dan heeft die kern geen resulterende kernspin, heeft een kern echter een oneven aantal protonen, of een oneven aantal neutronen, dan is er een resulterende kernspin. Kern-

spins worden dikwijls aanschouwelijk gemaakt door ze te beschrijven als kleine staafmagneetjes. In een aangelegd magneetveld kunnen ze een beperkt aantal vaste posities ten opzichte van de richting van het magneetveld innemen. Ze tollen dan snel, zo stellen we ons hun beweging voor, in een *precessiebeweging* onder een bepaalde hoek ten opzichte van het magneetveld. Alle spins te zamen in één precessiestand hebben dan in de evenwichtstoestand een resulterend magneetveld in de rich-

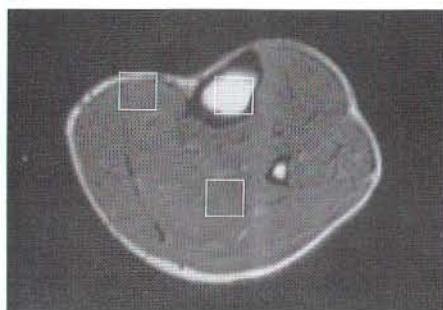
Spectroscopie en spinafbeelding

De resonantiefrequentie van kernspins hangt af van een fysische constante voor die kern, de *gyromagnetische constante*, en de sterkte van het aangelegde magneetveld. Hierdoor resoneren protonen (^1H) in een magneetveld van 1,5 Tesla bij 64 MHz, terwijl bijvoorbeeld bij ditzelfde veld ^{13}C -kernen door een andere gyromagnetische constante bij 16 MHz resoneren.

Een hoge-resolutie NMR-spectrum ontstaat doordat elke afzonderlijke kern binnen een molecuul zijn eigen chemische omgeving van elektronen en nabuikernen heeft. Die buren ver-

oorzaken met elkaar een resulterend magneetveld dat opgeteld moet worden bij het veel sterker uitwendige veld. Daardoor verschilt de resonantiefrequentie van een kern afhankelijk van de plaats waar hij in een molecuul zit. Zonder deze chemische verschuiving zouden bijvoorbeeld alle ^1H -kernen bij exact dezelfde frequentie resoneren. Door de chemische verschuiving vallen alle NMR-signalen van ^1H -kernen binnen een bereik van ongeveer 10 ppm. De eenheid staat voor parts per million, overeenkomend met 640 Hz als de resonantiefrequentie 64 MHz is.

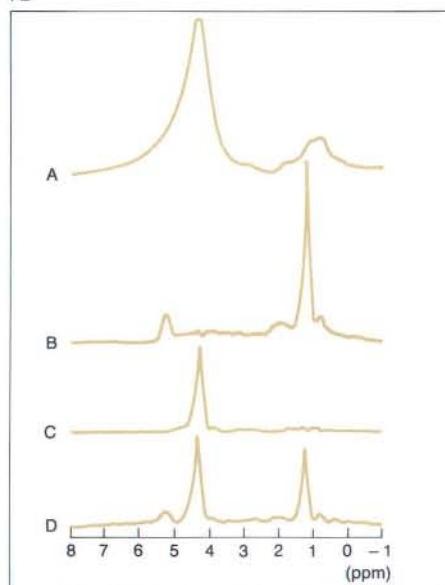
I-1



I-1. Een NMR-spinafbeelding van een menselijke kuit. We zien spierweefsel, een witte rand onderhuids vet en het scheen- en kuitbeen. Op de plaats van de drie vierkanten zijn drie spectra van afb. I-2 opgenomen.

I-2. Spectrum A is het ^1H NMR-beeld van de hele kuit van afb. I-1. Er is een groot breed watersignaal te zien en een kleiner signaal van de protonen in vet. Spectrum B is dat van merg en is een typisch vetsignaal. De vier pieken zijn, van rechts naar links gaand, afkomstig van CH_3 , CH_2 , $\text{HC}=\text{O}$ en $\text{HC}=\text{CH}$. Spectrum C is van spierweefsel, het vertoont bijna uitsluitend water. Spectrum D is van spier en vet.

I-2



ting van het aangelegde magneetveld. De component loodrecht op het externe magneetveld middelt uit door de verschillende posities van de vele spins en hun snelle tolbeweging.

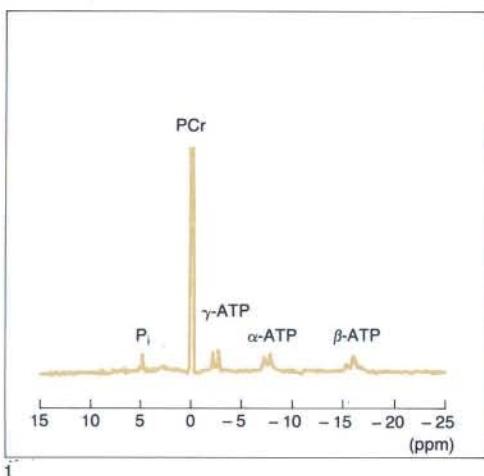
Het waterstofatoom is de kleinste kern met een kernspin. Het bestaat alleen uit een proton. In een magneetveld kunnen protonspins twee posities innemen, waarvan de resulterende magnetisaties parallel of anti-parallel aan het aangelegde veld zijn. In de evenwichtstoestand zijn meer spins in de parallele toestand.

Door instralen van een korte elektromagnetische puls met de juiste frequentie kunnen nu de spins van oriëntatie veranderen. De puls moet dan net voldoende energie bevatten om de energiekloof tussen beide toestanden te overwinnen. De benodigde frequentie is afhankelijk van de sterkte van het magneetveld waar de kernspins zich in bevinden. Na de verstoring relaxeren de spins weer terug naar hun uitgangspositie, onder uitzending van elektromagnetische straling. Deze is met behulp van

Een sterker magneetveld, dat een hogere resonantiefrequentie met zich mee brengt, is dus beter in staat kernen met een kleine variatie in hun magnetische omgeving te scheiden.

Naast de chemische verschuiving ontstaat er fijnstructuur in het spectrum door de onderlinge wisselwerking van naburige kernspins. Al deze effecten resulteren in een voor ieder molecuul uniek spectrum, waarmee de molekulaire samenstelling van een bepaald weefsel kan worden gekarakteriseerd, en waarmee bovendien een uitspraak gedaan kan worden over de concentratie waarin de verschillende chemicaliën voorkomen. Dit alles noemt men NMR-spectroscopie.

Uit het voorgaande blijkt dat bijvoorbeeld alle watermolekülen dezelfde resonantiefrequentie hebben. Het protonenspectrum van water bestaat dan ook uit één enkele lijn. Toch ligt dit signaal ten grondslag aan de toepassing van de NMR-scanner binnen de medische diagnostiek. Alle protonen in water resoneren immers alleen bij dezelfde frequentie als zij zich allemaal in hetzelfde magneetveld bevinden. Brengt men een object met watermolekülen in een magneetveld dat niet homogeen is, maar juist van plaats tot plaats verschilt, dan zal ook de resonantiefrequentie van het water van plaats tot plaats verschillen. In de NMR-scanner wordt dit bereikt door in drie loodrechte richtingen gradiënten in het magneetveld aan te brengen. Is de sterkte van deze gradiënten bekend, dan volgen uit de frequenties eenduidig de ruimtelijke coördinaten van de resonerende kernspins. Men spreekt daarom ook van NMR-spinsbeelding.



1. Het ^{31}P -spectrum van een menselijke kuit. Hierin zijn als stofwisselingsproducten de drie fosforatomen (α , β , γ in ATP, fosforcreatine (PCr) en anorganisch fosfaat (Pi) te zien.

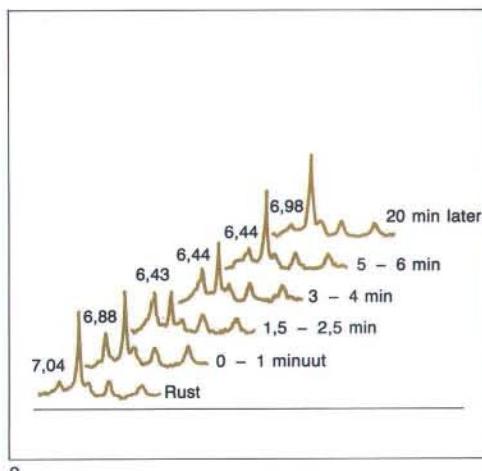
elektrische spoeltjes te detecteren en vormt het eigenlijke NMR-signaal.

Voor een eenvoudig NMR-experiment zijn dus nodig: een sterk magneetveld, een zendspoel voor een elektromagnetische puls, een ontvangstspoel en de nodige elektronica. Tussen de magneetpolen moet ruimte zijn om het te bemeten monster te plaatsen. Bij een NMR-machine voor chemische toepassingen is die ruimte meestal hooguit een centimeter. Bij medische toepassingen als beeldvorming moet een heel mens in de magneet passen. Overigens bestaan er aanmerkelijke verschillen tussen NMR-beeldvorming en NMR-spectroscopie, waarop we nu iets nader ingaan. Ook Intermezzo I gaat daarover.

Bij spectroscopie aan levende systemen meet men meestal aan waterstof (^1H) en in mindere mate aan fosfor (^{31}P) en de isotoop ^{13}C , dat in een gehalte van ongeveer 1% in natuurlijke koolstof voorkomt. De spins van deze kernen hebben ieder een karakteristieke resonantiefrequentie die in de eerste plaats afhangt van de grootte van het aangelegde magneetveld en de bij de spins behorende gyromagnetische verhouding, maar bovenal wordt door hun directe chemische omgeving. Binnen een molecuul bevindt een kern zich altijd in de buurt van elektronenwolken en andere kernen. De elektronenwolken bestaan uit snel rond draaiende geladen deeltjes, waarmee een plasselijk magneetveld gepaard gaat. Ook de kernen met hun lading en eventuele spin creëren een magneetveldje. Die lokale magneetveldjes zijn natuurlijk maar klein ten opzichte van het aangelegde magneetveld, maar toch zorgen ze voor verschillen binnen een molecuul waardoor bepaalde protonspins bij een net iets andere waarde van het externe magneetveld, of een net iets andere frequentie van het radiofrequente veld resoneren dan protonspins op een andere positie binnen een molecuul. Dit verschijnsel heet de *chemische verschuiving*. Hiermee kan een NMR-spectrum worden gemaakt

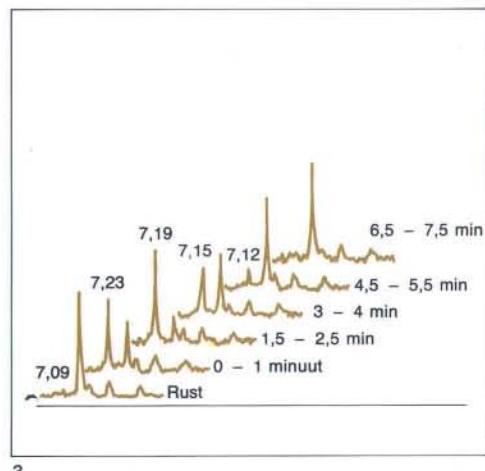
dat kan dienen als een soort vingerafdruk voor een molecuul, mits het gebruikte magneetveld sterk genoeg is om al die unieke resonantiefrequenties ver genoeg uit elkaar te trekken. Dit is het principe van NMR-spectroscopie: aan de hand van de chemische verschuiving van groepen protonen verkrijgt men informatie over de chemische structuur waarin ze zitten. Daardoor is het uiteindelijk mogelijk om chemische molecuulstructuren aan de hand van NMR-spectra te bepalen. Ook is het mogelijk, aan de hand van karakteristieke signalen in het NMR-spectrum (zie verder Intermezzo I), om van bepaalde molekulen aan te tonen dat ze verdwijnen, of van andere dat ze ontstaan.

De magneten voor de spinafbeelding van mensen, die een grote magneetopening moesten hebben, waren aanvankelijk ongeschikt voor spectroscopie. Ze waren niet sterk genoeg om de fijnzinnige chemische verschuivingen te meten. Spinafbeeldingsapparatuur kijkt eigenlijk alleen naar de protonen in water en vet. De snel verbeterde magneettechnologie maakte het in het begin van dit decennium echter mogelijk magneten te bouwen die een veel sterker homogeen magneetveld over een groot volume opwekken. Dergelijke machines kunnen niet alleen gebruikt worden voor spinafbeelding,



2

2 en 3. Met ^{31}P -spectra zijn metabole veranderingen te volgen. Spectra van iemands onderarm die daarmee een inspanning verricht (2) tonen aanvankelijk een afname van de fosfocreatinepiek, omdat die stof in het begin de ATP-voorraad aanvult. We zien een toename van de piek van anorganisch fosfaat, een afbraakproduct van ATP, terwijl de pH verschuift naar een lagere waarde door het



3

ontstaan van melkzuur. Na 20 minuten inspanning heeft een toegenomen bloedtransport ervoor gezorgd dat er voldoende ATP en zuurstof wordt aangevoerd. De pH stijgt weer. Bij een patiënt met McArdle's syndroom (3) treedt de karakteristieke verzuring niet op doordat de glycogeenafbraak naar melkzuur niet plaatsvindt. De pH stijgt aanvankelijk zelfs.

maar eveneens voor de oorspronkelijke functie van NMR, het bestuderen van (bio)chemische eigenschappen van bepaalde molekülen met behulp van NMR-spectroscopie. Hiermee is het mogelijk geworden op molekulair niveau zeer gedetailleerd bepaalde processen in patiënten en proefpersonen te volgen, zonder enige schadelijke bijwerking. Deze nieuwe benadering is uniek in de zin dat de methode informatie geeft over de chemische samenstelling en stofwisseling van levende organen, zonder dat de onderzoeksmethode zelf enige storende invloed op het bestudeerde proces heeft.

In vivo NMR

De mogelijkheid NMR-signalen te meten in intact weefsel is in 1974 aangetoond aan de hand van dierexperimenten. Het spectrum van fosforsignalen uit de achterpoot van een rat werd gemeten in een NMR-apparaat met een kleine magneetopening. Hiermee werd het startsein gegeven voor een stroom van NMR-onderzoeken aan intacte proefdieren. Deze *in vivo* experimenten, ook bij mensen mogelijk, verschaffen nieuw inzicht in de onderlinge samenhang van allerlei biochemische reacties met een zo gering mogelijke verstoring van deze processen door de meetmethode.

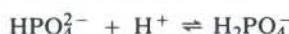
Door bijvoorbeeld een NMR-spoeltje aan te brengen tegen de kuit van een proefpersoon en ervoor te zorgen dat het spoeltje en de kuit zorgvuldig in het homogene gebied van de magneet worden geschoven kan in enkele minuten een ^{31}P -spectrum van menselijk spierweefsel opgenomen worden. In het spectrum kunnen we de signalen van anorganisch fosfaat (Pi), fosforcreatine (PCr) en adenosinetrifosfaat (ATP) onderscheiden. Deze drie chemische componenten bepalen in sterke mate de energiehuishouding van het spiermetabolisme. We kunnen dit metabolisme prikkelen door de spier arbeid te laten verrichten. De hiervoor benodigde energie wordt vrijgemaakt doordat er een fosfaatbinding van ATP verbroken wordt. ATP wordt omgezet in ADP, Pi en energie. In rust wordt de benodigde ATP-voorraad in de meeste soorten spierweefsel op peil gehouden door aërobe verbrandingsprocessen, zoals oxydatie van bijvoorbeeld glucose en vetzuren. Zodra de spier een zware inspanning moet verrichten neemt de behoefte aan ATP zeer sterk toe. De ATP-



4

4. Een NMR-scanner zoals ze tegenwoordig in de ziekenhuizen in gebruik zijn. Voor spectroscopie zijn apparaten met sterke magneten nodig, terwijl aanvullend gebruik wordt gemaakt van oppervlaktespoelen.

productie kan nog verder opgevoerd worden door een toename van de bloedtoevoer in de betrokken spier(en). Dit laatste proces vergt echter nogal wat tijd; bij een gezond persoon enkele minuten. Om toch direct na het startsein voor een zware inspanning voor voldoende ATP te zorgen, zal via de anaërobe stofwisseling het in de spier opgeslagen glycogeen (een glucosepolymeer) omgezet worden in melkzuur. Hierdoor daalt de pH in de spier, hetgeen gepaard gaat met een snelle afname van de hoeveelheid fosforcreatine. NMR is een uitgelezen techniek om al deze processen in detail te volgen. Het ^{31}P -spectrum van een spier in rust laat een intens PCr-signaal zien, naast een aantal kleinere pieken afkomstig van Pi en ATP. De signaalintensiteit is een maat voor de concentratie. Naast informatie over de concentraties van de verschillende substraten die tijdens dit proces een rol spelen, kan eveneens het verloop van de intracellulaire pH uit de spectra afgelezen worden. De positie van het NMR-signaal van anorganisch fosfaat in het fosforspectrum is een functie van de zuurgraad. Dit valt te begrijpen op grond van het chemisch evenwicht waarin anorganisch fosfaat zich in levend weefsel bevindt:

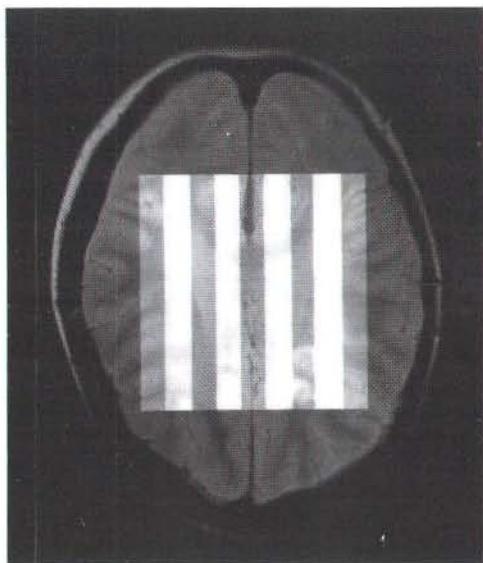


De ligging van dit evenwicht wordt bepaald door de concentratie H^+ -ionen, uitgedrukt in

de pH van het milieu. Nu is de resonantiefrequentie van de fosforkern in HPO_4^{2-} iets verschoven ten opzichte van die in H_2PO_4^- . In het NMR-spectrum wordt een gemiddelde positie waargenomen die aangeeft waar het chemisch evenwicht ligt, waaruit de pH van intact weefsel binnen de cel kan worden bepaald. Uit het ^{31}P -referentiespectrum van een spier in rust lezen we af dat de intracellulaire pH ongeveer 7,15 is. Tijdens een inspanningsoefening zal het spectrum veranderen. De hoeveelheid PCr neemt snel af, de Pi-piek neemt toe en het ATP-signaal verandert nauwelijks. Boven-

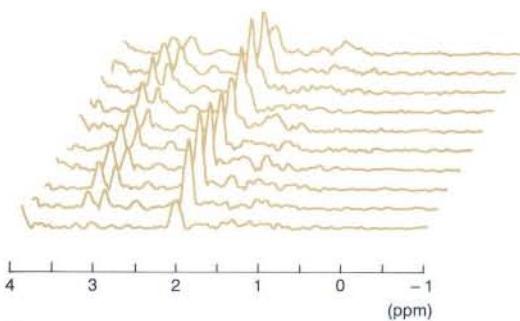
dien verschuift de positie van de Pi-piek, het geen duidt op een verlaging van de pH. Dit alles in overeenstemming met het hierboven geschetsde model van het spiermetabolisme.

Bij sommige ziekten zal de respons op een inspanningsoefening een ander verloop hebben, zoals bijvoorbeeld bij patiënten die lijden aan het *McArdle's syndroom*. Dit is een aangeboren afwijking, veroorzaakt door een verminderde activiteit van het enzym glycogeenfosforylase in de skeletspieren. Hierdoor is de omzetting van glycogeen naar ATP sterk belemmerd. Zodra een spier wordt gedwongen in



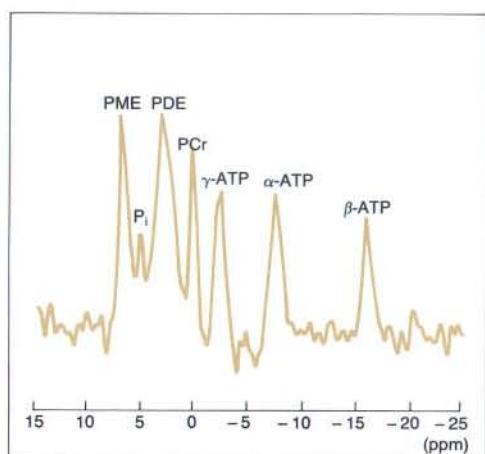
5

5 en 6. Een herseninfarct is met NMR-spinafbeelding goed te detecteren. Recent is het mogelijk geworden over de ernst ervan meer te zeggen doordat men het getroffen gebied en het deel eromheen in plakken van 1 cm kan verdelen en daarvan gelijktijdig ^1H -spectra kan openen. Die geven een indruk van de stofwisselingsprocessen ter plaatse.



6

7 en 8. Twee ^{31}P -spectra van delen van de hersenen van een patiënt met een uitzaaiing van een hypofysecarcinoom. Het spectrum opgenomen op de plaats van het gezwellen toont forse pieken van fosfoethanolamine (PME) en fosfordiesters, wijzend op celmembraanafbraak en -opbouw, terwijl de fosforcreatinepiek (PCr) sterk verlaagd is. Het gezonde deel van de hersenen laat het normale ^{31}P -hersenspectrum zien.

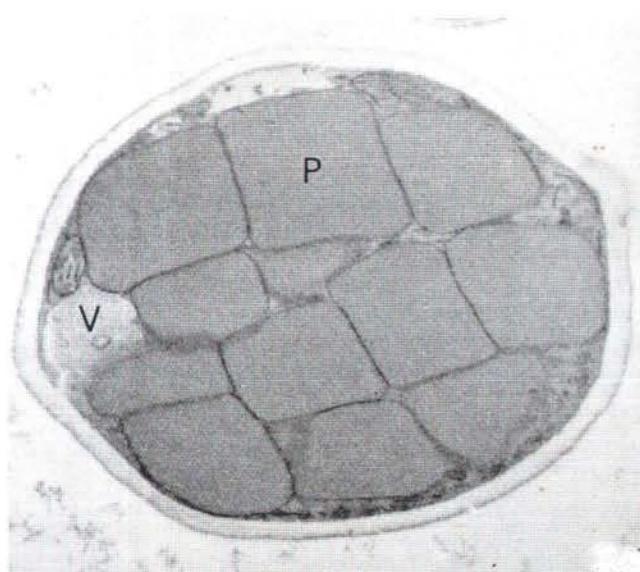


7

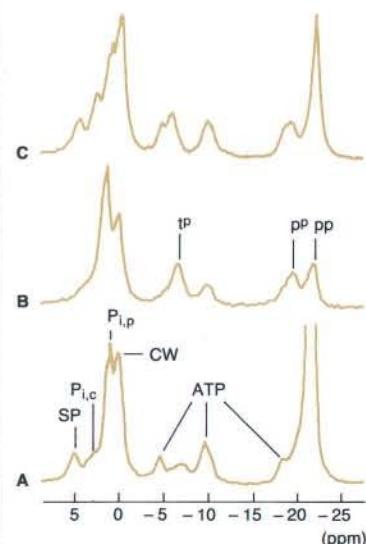
korte tijd een zware inspanning te verrichten, onstaat een tekort aan ATP door de verminderde afbraak van glycogeen waarbij ATP ontstaat. Onder deze omstandigheid blijft eveneens de voor deze omzetting karakteristieke productie van melkzuur achterwege. Typisch voor deze ziekte is dan ook het uitblijven van een zuurverschuiving van de anorganisch-fosfaatpiek in het ^{31}P -spectrum tijdens inspanning. Met een serie fosforspectra verkregen tijdens zware inspanningsoefeningen kan men op deze wijze een uitspraak doen of er al dan niet sprake is van deze ziekte.

Gelokaliseerde spectra

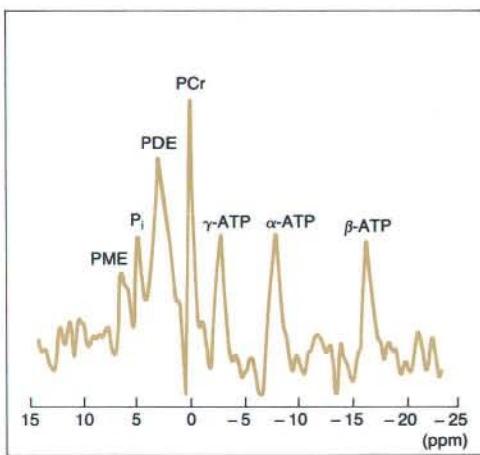
Bij de hiervoor beschreven experimenten is het eenvoudig om een signaal uit een bepaalde spier op te vangen. Aangezien onderhuids vet en bindweefsel nauwelijks een ^{31}P -signaal geven, kan een fosforspectrum uit een skeletspier gemeten worden door het NMR-spoeltje dicht tegen de huid van de kuit te houden. Bij dieper liggend weefsel lukt dit niet. Dit lokalisatieprobleem is op te lossen door methoden uit de NMR-spectroscopie te combineren met technieken die uit de spinafbeelding afkomstig



9



10



8

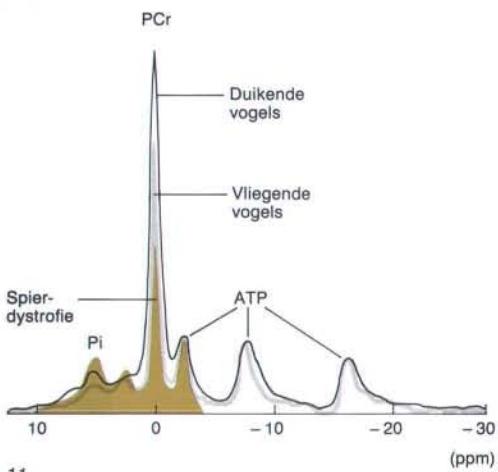
9 en 10. De gist *Hansenula polymorpha* ontwikkelt enorme peroxyxomen wanneer hij methanol als voedsel krijgt. Peroxyxomen zijn celorganelen waarin oxyderende enzymen actief zijn, in dit geval vervult het enzym alcoholperoxydase een sleutelrol. Opvallend aan het spectrum van de normaal groeiende cel (A) is het voorkomen van twee pieken van anorganisch fosfaat ($\text{Pi}_{\text{i},\text{p}}$ en $\text{Pi}_{\text{i},\text{c}}$). Dit betekent dat binnen deze gistcellen twee verschillende pH-milieus bestaan. De $\text{Pi}_{\text{i},\text{c}}$ -piek ligt bij pH = 7,0 en die blijkt in het celvocht te heersen. Binnen de peroxyxomen is de pH 5,8. Worden de cellen in een KCN-buffer overgebracht dan stopt de groei (B). We zien de drie ATP-pieken verdwijnen, maar ook het pH-verschil verdwijnt. Brengt men de cellen weer over in het groeimedium met methanol dan is na twee uur de normale situatie hersteld (C). Inmiddels is aangetoond dat de pH-gradiënt in stand wordt gehouden door een enzym in het membraan van de peroxyxomen dat H^+ pompt onder afbraak van ATP. Andere pieken in de spectra zijn afkomstig van fosfaten in de celwand (CW), suikerfosfaten (SP) en polyfosfaten (tP, PP en PP).

zijn. Door in drie richtingen een gradiënt in het statische magneetveld aan te leggen, kan de resonantiefrequentie van een bepaalde groep kernspins plaatsafhankelijk worden gemaakt. De gradiënt zorgt ervoor dat slechts op één plaats in de magneet aan de resonantievoorraarde is voldaan. Zo kan een spectrum uit een geselecteerd volume binnen een lichaam worden verkregen. De toepassing van deze techniek, al dan niet in combinatie met daarvoor speciaal ontwikkelde (oppervlakte)spoelen, heeft inmiddels geleid tot een aanzienlijk aantal NMR-spectroscopie-studies aan patiënten met aandoeningen van verschillende aard. Om met spectroscopie veranderingen in de chemische samenstelling van levend weefsel te kunnen waarnemen is het overigens wel vereist dat de te meten concentraties de detectiegrens van ongeveer 1 mMol overschrijden. Het direct meten van stoffen die in nog lagere concentraties voorkomen, zoals bepaalde hormonen en enzymen, is uitgesloten. Ondanks deze beperking blijkt het toch mogelijk een groot aantal ziektebeelden te onderzoeken.

Klinische voorbeelden

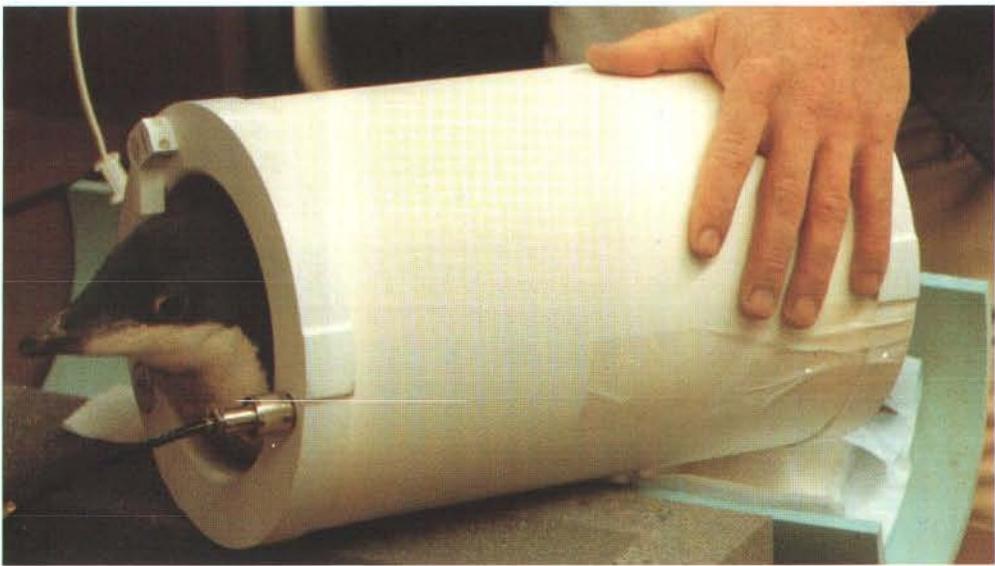
Tot nog toe is veel aandacht uitgegaan naar het onderzoek van tumoren met behulp van ^{31}P -spectroscopie. Hierbij gaat het niet zozeer

11 en 12. Pinguïns en zeehonden kunnen lang onder water zwemmen. Met ^{31}P -NMR-spectroscopie is nu aange- toond dat ze hun energie daarvoor halen uit een flinke voorraad fosforcreatine die in hun spieren is opgeslagen. De energierijke bindingen in fosforcreatine stellen de duikers kennelijk in staat om lang zonder zuurstof te kunnen zwemmen. De situatie uit de eerste spectra van afbeelding 4 kunnen zij kennelijk langer volhouden. Het afge- beelde spectrum toont het verschil tussen de fosforcreatinevoorraaden (PCr) van duikende en vliegende vogels. Vliegende vogels hebben minder nodig omdat zij adem kunnen halen en via hun bloed de stoffen voor de aerobe afbraak van energierijke verbindingen kunnen aanvoeren. Ook is het spectrum van een patiënt met spierdystrofie ingetekend, waarbij de PCr-voorraad chronisch laag is. Op de foto één van de pinguïns voor een experiment in de NMR-spoel. Hun poten en vleugels werden in ijs verpakt, om ze niet aan hittestress te laten lijden.



11

12



om de detectie van eventuele tumoren, maar veel meer om een middel in handen te krijgen waarmee uitspraken gedaan kunnen worden over de aard van de tumor. Inzicht in de biochemische activiteit van tumoren kan mede bepalend zijn voor de keuze van de meest doeltreffende therapie. Bovendien kan zeer snel na een behandeling met hyperthermie, chemo- of radiotherapie een indicatie worden gegeven in welke mate de therapie aanslaat. Momenteel is het nog niet zover dat de spectroscopie al uitsluitend kan geven over de aard en aanbevolen behandelingswijze van tumoren. In diverse ziekenhuizen wordt sinds een jaar wel systematisch gebruik gemaakt van deze nieuwe techniek om een meer fundamenteel begrip te krijgen van de biochemische processen die een rol spelen bij het ontstaan, de groei en respons op de behandeling van tumoren.

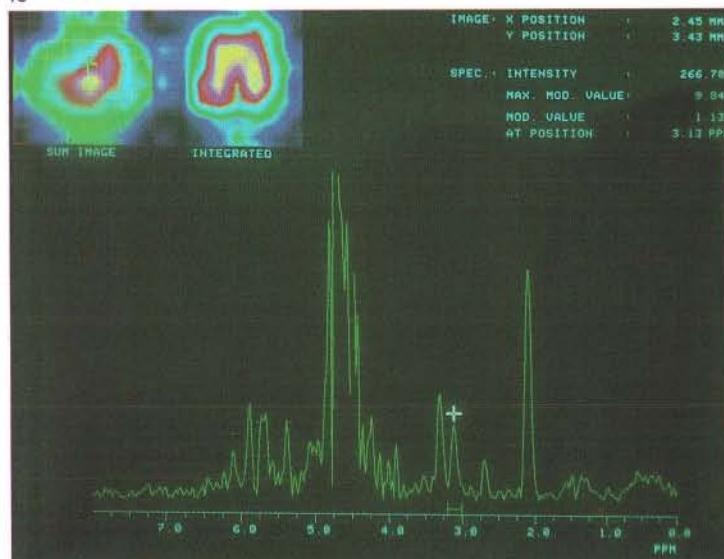
Een onderzoek aan bijvoorbeeld hersentumoren zal in de praktijk beginnen met een opname van het NMR-beeld voor een precieze lokalisatie van de aandoening. Hiermee kan het volume gekozen worden waaruit het signaal van het spectrum afkomstig moet zijn. Tegelijkertijd kan een spectrum opgenomen worden uit een gedeelte van de hersenen dat uitsluitend uit gezond weefsel bestaat. Het verschil tussen de spectra geeft dan een indicatie van het verschil in chemische samenstelling en metaboli-

sche activiteit tussen het gezonde en het aangeattaste weefsel. In het algemeen worden tumoren gekenmerkt door een verhoogde pH, een afgenomen PCr en een toegenomen Pi-signaal. Daarnaast zijn duidelijke verschillen waarneembaar in de fosformono- en fosfordiestergebieden van het ^{31}P -spectrum, duidend op processen die samenhangen met de afbraak van celmembranen. Opvallend is de grote variabiliteit in de spectra van verschillende tumoren, terwijl spectra van gezonde vrijwilligers slechts zeer geringe verschillen vertonen.

Het meten van spectra van andere weefsels en organen, zoals hart, lever en nieren is in de praktijk lastiger. De organen liggen diep verscholen achter een laag vet of spieren, waarvan het intense signaal onderdrukt moet worden. Bovendien speelt beweging een belangrijke rol. Tijdens het opnemen van de spectra mag het volume waaruit een spectrum wordt opgenomen niet of nauwelijks bewegen. Het opnemen van spectra uit het hart vereist een herhalingsritme van de opnamen dat gelijke tred houdt met de hartslag van de patiënt. Dit wordt bereikt door de NMR-meting te synchroniseren met het gelijktijdig opgenomen elektrocardiogram.

Een belangrijke toepassing van spectroscopie aan organen is het volgen van afstotingsreacties na transplantaties. Dergelijke ver-

13

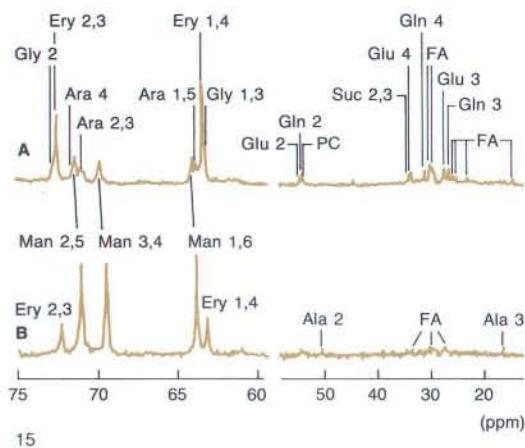


13. Heel nieuw is de techniek waarbij van één piek in een spectrum de verdeling in een bepaald volume is te achterhalen. De afbeelding toont een ^1H -spectrum uit een klein volume in de hersenen van een proefpersoon. De speciale aandacht gaat hier uit naar creatine, in het spectrum aangeduid met een kruis boven de piek. Het rechter vierkantje geeft de verdeling van creatine in het bestudeerde volume. Zo kan van metabolieten die in redelijke concentratie voorkomen nauwkeurig de plaats worden bepaald.



14

14 en 15. *Aspergillus nidulans* is een schimmel die op verschillende voedingsmedia en onder verschillende zuurstofvoer in de exponentiële groefase ook heel verschillende suikervoeraden vormt. Suikers als mannitol, glycerol, arabinol, erythritol en trehalose kunnen allemaal ontstaan in nevenreacties van de reactieketen die leidt van sucrose tot pyruvaat. Pyruvaat is het vertrekpunt voor de synthese van veel aminozuren. Door de voedingsbodem en de groeiomstandigheden te variëren blijken micro-organismen andere routes in het doolhof van metabolisme evenwichtsreacties te kiezen. Met ^{13}C -NMR-spectroscopie zijn de resultaten goed zichtbaar te maken. Men



15

kan eventueel ^{13}C -verrijkte voedingsmedia aanbieden om een sterker signaal te krijgen. De foto (14) is een microscopische opname van *Aspergillus nidulans*. De twee ^{13}C -NMR-spectra zijn van cultuur die op sucrose/acetaat (0.1M/0.01M) groeiden, onder sterk aerobe omstandigheden. In het eerste geval vormt *Aspergillus* voorraden aminozuren als glutamine (gln) en glutaminezuur (glu), daarnaast worden suikervoeraden in de vorm van erythritol (ery) en arabinol (ara) aangelegd, naast glycerol (gly). In het tweede geval beperkt de schimmel zich tot de aanleg van manitolvoeraden.

schijnseilen gaan gepaard met een verstoring van de energiehuishouding in het getransplanteerde orgaan. In nierspectra is waargenomen dat de verhouding tussen de fosformonoesteren en de ATP-signalen een gevoelige indicator is voor eventuele afstotingsreacties. Bij de hartspier kan men verwachten dat afname van het PCr-signaal op problemen duidt.

Net zoals bij de inspanningstest voor het aantonen van McArdle's syndroom kan het zinvol zijn om spectra te meten in een toestand waarbij het orgaan onder studie wordt geprickeld om extra actief te zijn. Bij de skeletspieren is dit eenvoudig, maar het provoceren van de hersenen en bijvoorbeeld de lever is veel lastiger. Een manier om de stofwisseling in de hersenen uit haar evenwicht te brengen is de patiënt of proefpersoon vrijwillig te laten hyperventileren. Door gedurende een korte periode bewust zeer diep adem te halen, neemt het CO_2 -gehalte in het bloed af. Hierdoor neemt de pH enigszins toe. Deze toename van de zuurgraad activeert een verhoogde glucoseconsumptie in de hersenen, hetgeen tot een ver-

De gevoeligheid van NMR

NMR is een ongevoelige techniek. Het signaal dat de kernspins afgeven is zo zwak, dat een NMR-apparaat in een kooi van Faraday opgesteld moet worden om radiofrequente straling van buitenaf tegen te gaan.

Bij de kernspinafbilding wordt de ongevoeligheid van de techniek gecompenseerd door het feit dat de concentratie van de protonen die afgebeeld worden in het menselijk lichaam zeer hoog is. De mens bestaat voornamelijk uit water (ongeveer 70 molair). Bovendien geven protonenkernspins een sterker signaal af dan bijvoorbeeld fosfor- of koolstofkernspins. NMR-spectroscopie berust daarentegen op het bepalen van metabolieten die een belangrijke rol bij de stofwisseling vormen. De concentratie van deze chemiciëlen in het lichaam is ongeveer tienduizendmaal zo laag als die van water. Het NMR-signaal dat hieruit verkregen wordt door de

hoog melkzuurniveau leidt. Dit proces gaat gepaard met neurologische verschijnselen die zich uiten in duizeligheid en tintelingen in de vingers en rond de lippen. Met behulp van ^1H - en ^{31}P -spectra van de hersenen kunnen de veranderingen in de melkzuurconcentratie en pH gedurende de opbouw en afbraak van de hyperventilatie worden gevolgd.

Een methode om de lever extra te activeren is het intraveneus toedienen van een fructose-oplossing. Fructose wordt in de lever gefosforyleerd tot fructose-1-fosfaat door het enzym fructokinase en de omzetting van ATP naar ADP. Het fructose-1-fosfaat stapelt zich tijdelijk in de lever op, waarna het verdwijnt onder een toename van het anorganisch fosfaat dat op zijn beurt zeer langzaam uit de lever verdwijnt. Door dit bio-energetische proces met ^{31}P -spectroscopie te volgen kan de leverfunctie worden getest.

Een blik in de toekomst

Het aantal toepassingen van de kernspinresonantie in de klinische omgeving breidt zich nog steeds uit. Niet alleen de spectroscopie is nieuw

bij de medisch NMR. Ook binnen de beeldvormende NMR zijn de mogelijkheden nog lang niet uitgeput. Een veelbelovende toepassing lijkt het in beeld brengen van kernspins die zich gedurende de meting verplaatsen. Hiermee kunnen bloedvaten, waarin zich uiteraard 'stromende spins' bevinden, duidelijk onderscheiden worden van het omringende weefsel. Het afbeelden van de bloedvaten met behulp van NMR (angiografie) kan een belangrijke rol gaan spelen bij hart- en vaatonderzoeken. Verder hebben recente ontwikkelingen aangegetoond dat het mogelijk is een groot aantal spectra tegelijk te meten. Hierdoor kan op een groot aantal plaatsen binnen de hersenen de metabolische situatie afgelezen worden. Ook kan zo de dichtheidsverdeling van één bepaalde chemische stof in een orgaan worden bepaald. Het vereist echter nog een grote inspanning van teams met chemici, fysici en klinisch specialisten voor deze methoden tot de dagelijkse routine in de ziekenhuizen zullen behoren. Vooralsnog is de klinische spectroscopie een veelbelovend researchmiddel; de grenzen van de mogelijkheden zijn nog lang niet bereikt.

kernspins slechts eenmaal uit evenwicht te brengen zal nauwelijks sterker zijn dan de ruis. Om het signaal duidelijk van ruis te kunnen onderscheiden moet hetzelfde experiment een groot aantal malen herhaald worden. De signaal/ruisverhouding neemt toe met de wortel van dit aantal middelingen. Echter, de snelheid waarmee men herhaalt, mag niet veel hoger zijn dan de relaxatietijd van de desbetreffende kernspins. Aangezien de relaxatietijden in de grootte-orde van 1 tot 10 seconden liggen en het aantal middelingen voor een goede signaal/ruisverhouding enkele tient- tot honderdtallen kan bedragen is meettijd al snel de beperkende factor. Dit maakt *in vivo* NMR-spectroscopie uitsluitend geschikt voor aandoeningen die gekarakteriseerd worden door, of samen gaan met aanzielijke afwijkingen in het normale stofwisselingspatroon. Bovendien dient het volume waaruit een spectrum bepaald wordt voldoende groot te zijn, van één tot enkele centiliters.

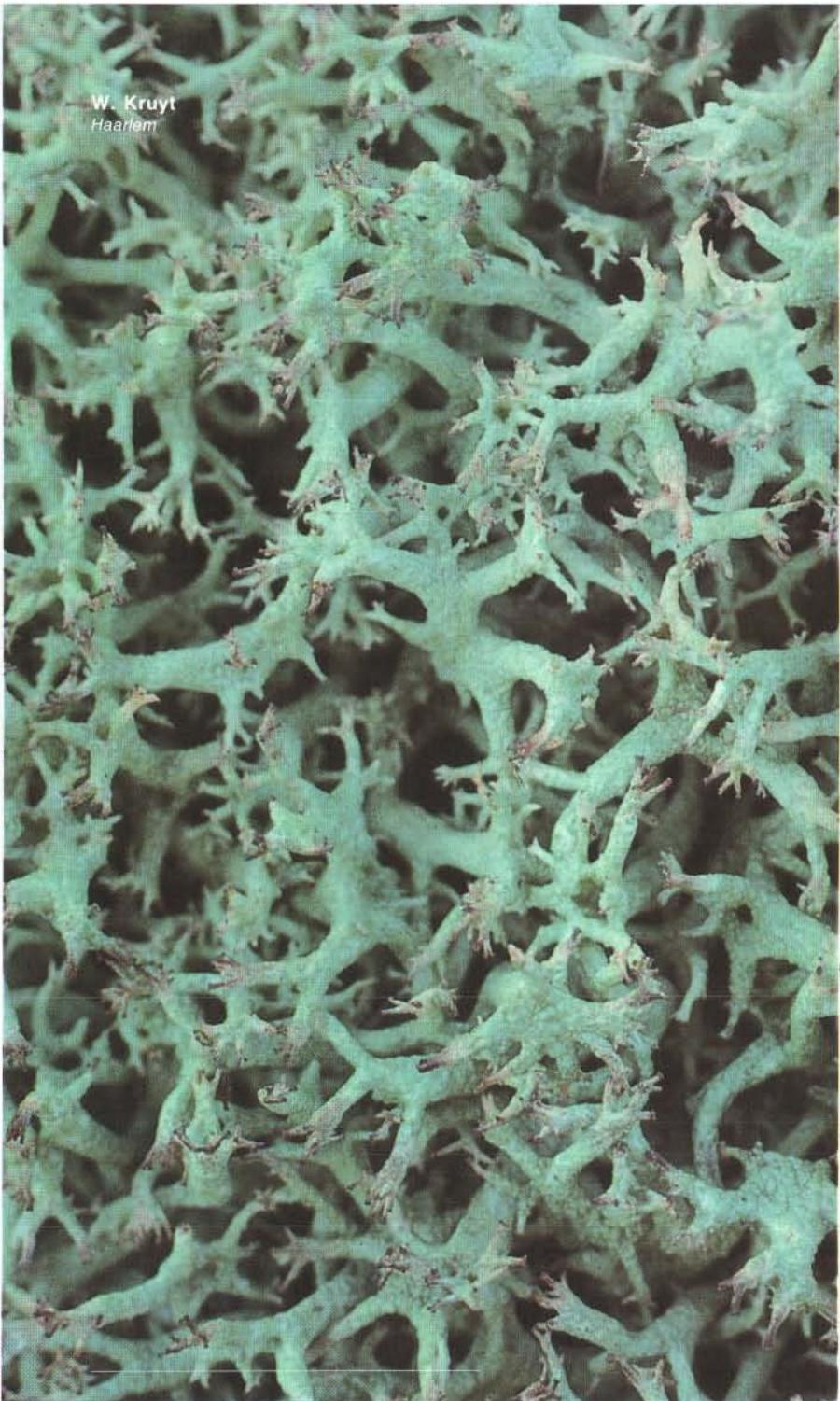
Literatuur

- Geerdes M, Zuiderweg E. NMR, Een fysische methode voor chemisch en biochemisch structuuronderzoek. Natuur en Techniek 1979: 47; 1, pag. 50-67.
 Veeman WS. Spectrometrische methoden, NMR/ESR. Natuur en Techniek 1985: 53; 3, pag. 178-197.
 Luyten PR. NMR-spinafbeelding. Natuur en Techniek 1988: 56; 7, pag. 614-626.

Bronvermelding illustraties

- Philips Medical Systems, Best: pag 746-747, I-1, I-2, 1, 2, 3, 4, 7, 8, 13
 P.C. van Rijen, Kliniek voor Neurochirurgie, Academisch Ziekenhuis Utrecht: 5, 6
 Klaas Nicolay (Moleculaire Biologie, RU Utrecht), Marten Veenhuis, Wim Harder, Ida van der Klei (Microbiologie, RU Groningen): 9, 10
 Terrie M. Williams, Sea World Research Institute, California, VS: 11, 12
 Cor Dijkema et al. Landbouwuniversiteit Wageningen: 14, 15

KORSTMOSSEN



een gevoelige symbiose

Korstmossen zijn ware pioniers. Waar andere planten geen schijn van kans maken weten zijn, dankzij geraffineerde fysiologische aanpassingen, te overleven; zelfs strenge vorst (-20°C) en extreme hitte deren hen niet. In de poolgebieden, het hooggebergte of in de woestijn kunnen korstmossen dan ook een aanzienlijk deel van de vegetatie uitmaken. Toch voelen vele soorten zoch ook prima in de gematigde streken thuis, zoals deze *Cladina impexa*, die bij ons een vrij algemene verschijning is op de bodem van lichte bossen, heiden en oude zandverstuivingen.



Twee in één

De benaming 'korstmos' is misleidend. Afgaande op de naam verwacht men een korstvormig mos. Deze organismen hebben echter niets met mossen te maken. Aan de meeste mossen zijn eenvoudige stengeltjes, blaadjes en op wortels lijkende organen te onderscheiden; bij een korstmos ontbreekt deze differentiatie echter geheel. In geval van ongedifferentieerd weefsel spreekt men van een *thallus*.

Korstmossen, ook wel *lichenen* genoemd, kennen wij uit onze naaste omgeving voornamelijk als grijze of gele plakkaten op stoep tegels en muren. Slechts een deel van alle korstmossen is ook werkelijk korstvormig. Vele zijn bladvormig, zoals de leermossen (*Peltigera spec.*), of struikvormig zoals de rendiermossen van het geslacht *Cladina*. Ook bestaan er allerlei tussenvormen. Zulke anders gevormde soorten komen wij bijvoorbeeld tegen in bossen en duinen, groeiend op de bodem, op boomstammen en takken. Bepaalde lichenen trekken al van ver de aandacht door hun uitbundige groei en hun prachtige felle kleuren, maar juist deze zijn in Nederland en België niet zo algemeen.

Het meest fascinerende aan een korstmos is wel dat het geen enkelvoudig organisme is

INTERMEZZO |

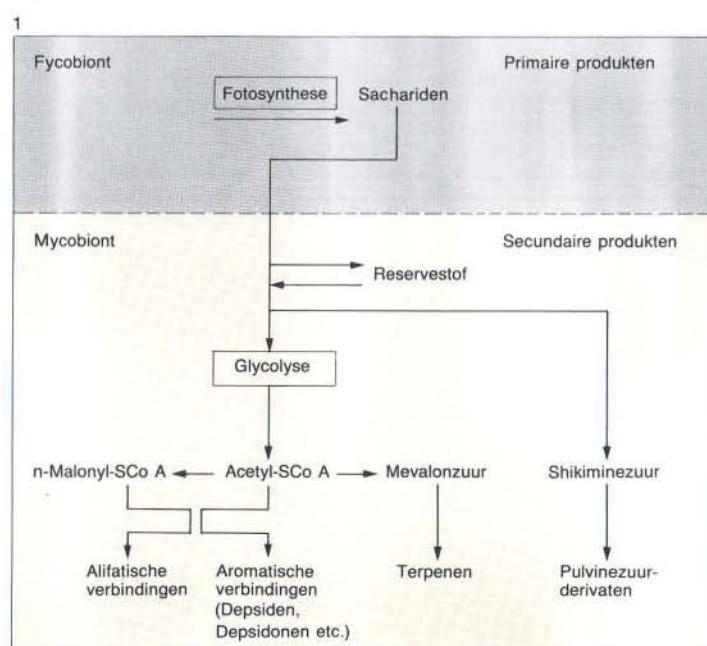
Hongersymbiose

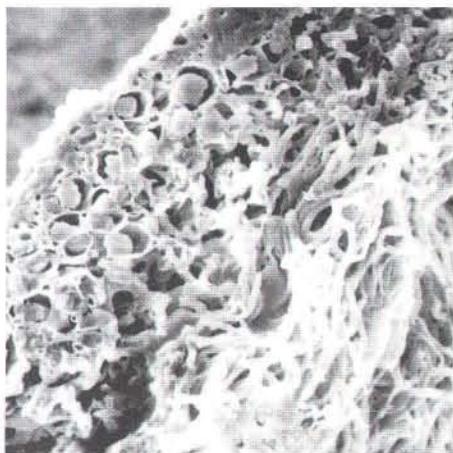
De nauwe samenwerking van een schimmel met één of meerdere algen in de natuur heeft geleid tot een geheel nieuwe biologische eenheid. In onze streken behoort de schimmelpartner vrijwel altijd tot de zakzwammen (*Ascomycetes*) en de algcomponent tot de groenwieren (*Chlorophyceae*) of, in circa 3% van de gevallen, tot de blauwwieren (*Cyanophyceae*).

Plantkundigen rekenen de lichenen tot de schimmels (*Fungi*), omdat dit organisme de vorm en de interne structuur van het lichen bepaalt. Lichenologen zijn echter van mening dat korstmossen als een aparte eenheid beschouwd moeten worden. Zij wijken immers in morfologisch, fysiologisch en ecologisch opzicht sterk af van de afzonderlijke organismen waaruit zij zijn opgebouwd.

Jahns en Henssen stelden vast dat éénzelfde schimmelsoort met twee totaal verschillende algparteniers kan samenleven. Vanuit het gezichtspunt van de botanicus zou in een dergelijk geval sprake zijn van één enkele soort. Toch is er sprake van twee uiterlijk compleet verschillende organismen, zoals bij *Lobaria amplissima* en *Dendriscocaulon um-*

1. Vereenvoudigd schema van de biosynthese van lichenstoffen. Uit de sachariden, die de algcomponent door fotosynthese produceert, maakt de schimmel behalve reservestoffen een scala van secundaire stoffen. Deze zijn in drie hoofdgroepen onder te brengen. Tot de acetaat-malonaatgroep, behoren de alifatische verbindingen (zuren, esters, alkanen) en de aromatische verbindingen, waaronder depsiden, depsidonen en anthrochinonen. De mevalonzuurgroep omvat onder meer terpenen; vulpinederivaten rekent men tot de shikiminezuur-groep.





I-1. Bij korstmossen onderscheidt men twee typen thallusbouw. De meest eenvoudige, korstvormige soorten vertonen een min of meer gelijkmatige spreiding van algen. Bij meer gedifferentieerde lichenen, zoals deze bladvormige soort, liggen de algcellen in een laag vlak onder het oppervlak (2), waar de lichtcondities optimaal zijn. De schimmel vormt aan de bovenzijde de dicht geweven schors (1). De onderzijde van de algallaag wordt afgeschermd door het merg (3), een los weefsel van schimmeldraden, meestal gevolgd door een onderste schorslaag.

hausens. Hetzelfde geldt voor de soorten van het geslacht *Peltigera* (ledermossen), waarbij combinaties van één bepaalde schimmel met zowel blauw- als groenwieren, of zelfs met beide, mogelijk zijn. Dit heeft ertoe geleid dat korstmosseskundigen zich vooral op de uiterlijke, en niet zo zeer op genetische kenmerken gingen concentreren.

In de symbiose bestaat tussen de alg- en de schimmelcomponent een labiel evenwicht. Als men de schimmelpartner in het laboratorium ideale omstandigheden aanbiedt, bijvoorbeeld in de vorm van een suikeroplossing, dan overwoekert deze de alg en wordt de symbiose verbroken. Ook de alg kan de overhand nemen bij voldoende licht en vocht. Deze gecontroleerde samenlevingsvorm functioneert dus slechts optimaal als de levensomstandigheden voor beide partners ongunstig zijn. Vandaar dat Jahns spreekt van een 'hongersymbiose'. Aangezien in de symbiose de alg in de primaire productie van voedingsstoffen voorziet, en de schimmel de alg om die reden lijkt te dulden, zou men het ook een 'geduldparasitisme' kunnen noemen.

M. Asperges

Universitair Centrum Limburg, Diepenbeek.

maar een symbiose, een samenlevingsvorm van een schimmel (de *mycobiont*) en een alg (de *fycobiont*). Pas na verbetering van de microscoop, halverwege de vorige eeuw, wist men de bouw van een korstmossenthallus te ontdekken. Toch is nog steeds niet op alle vragen een antwoord gevonden. Wel weten we inmiddels dat de algcomponent de schimmel van koolhydraten voorziet door middel van fotosynthese. De schimmelpartner lijkt de alg bescherming te bieden tegen beschadiging en uitdroging en levert haar mogelijk mineralen. In combinatie zijn deze organismen in staat tot het produceren van bijzondere chemische verbindingen, die nergens anders in de natuur voorkomen: lichenenstoffen (Intermezzo II). Deze verbindingen, die ontstaan bij de stofwisseling door een samenspel van beide symbionten, kunnen 1 tot 5% van het drooggewicht uitmaken. Ze worden afgezet in en op de wanden van de schimmeldraden. Van ongeveer 200

lichenenstoffen heeft men de chemische samenstelling al opgehelderd. Mede door hun vermogen om die stoffen te produceren, genieten korstmossen speciale belangstelling van de mens.

Door de uiterst langzame groei van lichenen (variërend van enkele millimeters tot enkele centimeters per jaar) is hun economische betekenis beperkt. Ook cultivering onder laboratoriumomstandigheden verloopt uiterst moeizaam. Men is dus aangewezen op het verzamelen van korstmossen in gebieden waar zij nog volop voorkomen en die zijn nogal dun gezaaid. Toch is het de moeite waard om even stil te staan bij de gebruikswaarde van lichenen. Met name in vroeger tijden was de betekenis van korstmossen voor de kleurstof- en parfumindustrie en als voedsel of medicijn aanzienlijk. Tegenwoordig hebben veel toepassingen ten gevolge van industriële ontwikkelingen hun betekenis verloren.

Parfumindustrie

In het Egypte der oude farao's deed pletmos (*Evernia prunastri*) dienst bij het balsemen en mummificeren van lijken. Waarschijnlijk berustte de werkzaamheid van dit korstmoss, dat schadelijke organismen en kwalijke geurtjes tegengaat, op de aanwezigheid van antibiotische bestanddelen en bepaalde geurstoffen in het thallus. Tot in de zeventiende eeuw diende deze soort in verpulverde vorm als welriekend poeder voor pruiken. Geurstoffen speelden in die tijd een belangrijke rol omdat men zich niet al te vaak waste, en bovendien verdreef het de luizen.

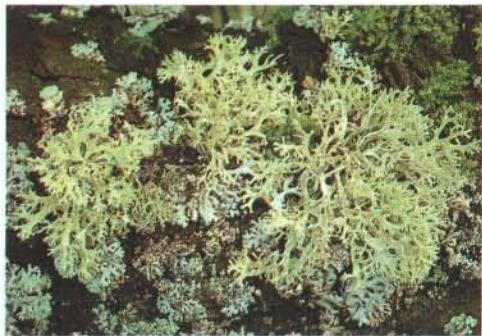
Vooral als leverancier van geurstoffen en vanwege hun vermogen om geurstoffen vast te houden, zijn bepaalde soorten ook nu nog interessant voor de parfumindustrie. In Zuid-Europa worden *Evernia prunastri* en *Pseudevernia furfuracea* voor dit doeleinde verzameld. In balen verpakt transporteert men het droge ruwe materiaal, respectievelijk 'mousse de chêne' en 'mousse odorante' genaamd, naar fabriekjes. Gedurende opslag voorafgaande aan de bewerking, neemt de karakteristieke geur geleidelijk toe. De donkere olie, die door extractie verkregen wordt, verwerkt men in de centra van de parfumindustrie (Parijs en New York) in zeep en parfums van bekende merken als 'Chypre', 'Russian leather' en 'Fougère'. Ook op dit terrein zijn langzamerhand, mede door veranderingen in het modebeeld, wijzigingen opgetreden.

Purper

De oude Grieken maakten al gebruik van bepaalde lichenen, vooral als grondstof voor een waardevolle purperen kleurstof. Van omstreeks 1200 tot 1800 was er in Zuid-Europa een bloeiende industrie op dit gebied. Men verzamelde het ruwe materiaal, met name struikvormige *Roccella*-soorten (die toen als wieren beschouwd werden), op diverse plaatsen in het Middellandse-Zeegebied. Aanvankelijk verwerkte men de korstmossen op primitieve wijze. Gereinigd en gemalen werden ze met water gemengd en gekookt. Na toevoeging van onder meer urine en kalk moest dit mengsel, onder veelvuldig roeren, enige weken op een warme plaats blijven staan. Bacteriën zorgden in tussen voor de omzetting van ureum, een che-



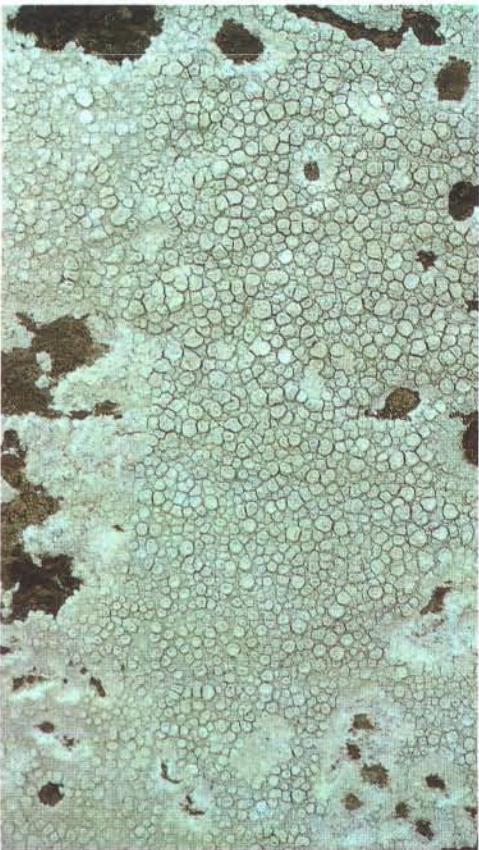
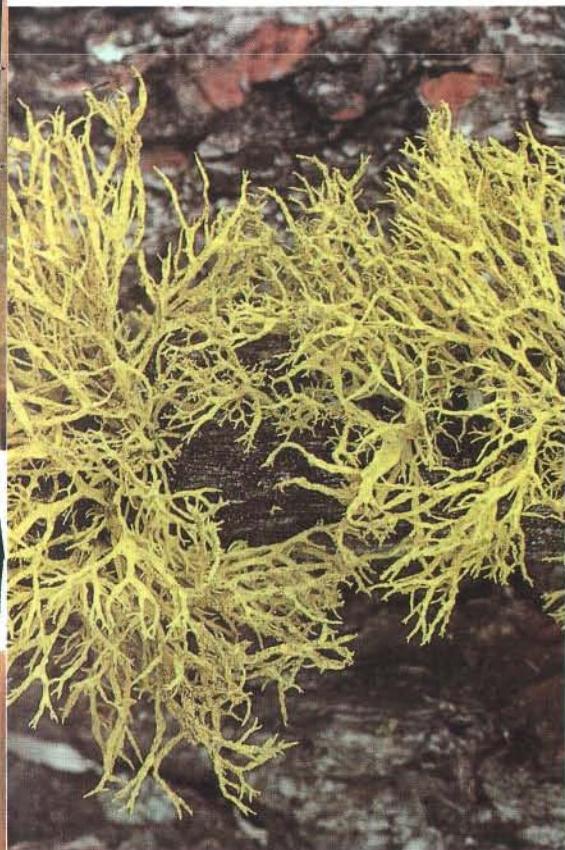
2



4

2. *Letharia vulpina* werd traditioneel gebruikt voor de bereiding van wolvegif. De helgele kleur is afkomstig van de lichenstof vulpinezuur, een sterk zenuwgif.

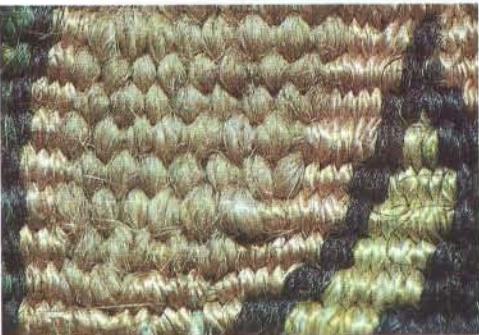
3. Uit *Ochrolechia parella* is, net als uit vele andere soorten, door inwerking van ammoniak, eeuwen lang orseille bereid. Er zijn echter ook vele korstmossen die bij koken met water prachtige bruine en gele tinten aan wol geven. Deze kleurstoffen ontstaan tijdens de bereiding uit kleurloze lichenstoffen. De kleur van het korstmoss zegt dus niets over de kleur van het geverfde produkt.



3



5



6

4. Pletmos (*Evernia prunastri*) is in Nederland en België een vrij algemene verschijning op boomshors. Extractie van pletmos met alcohol, benzine of acetone levert diverse produkten, die onmisbaar zijn in de parfum- en toiletzeepindustrie. Over de precieze chemische samenstelling van geurige extracten uit lichenen bestaat enige onzekerheid, aangezien fabrikanten niet scheutig zijn met informatie. Men vermoedt dat de specifieke geur, behalve op esters van everniazuur, ook berust op de aanwezigheid van onder meer kamfer, geraniol, vanilline en citronellol.

5 en 6. Details van een Vlaams tapijt uit 1580, dat geverfd is met orseille, een purperen kleurstof uit lichenen. Aan de achterzijde (5) is de oorspronkelijke, briljant violette kleur nog zichtbaar. De verbleekte voorzijde (6) toont de kleur na inwerking van licht. Hoewel het recept van orseille bekend was, mocht het juist vanwege de geringe lichtechtheid door textielververs, verenigd in het Verversgilde, bijna nooit gebruikt worden. Dat orseille wel in tapijten verwerkt is, hangt samen met het feit dat tapijtwevers tot een ander gilde behoorden en zelf hun produkten mochten verven.

mische verbinding in urine, in ammoniak. Reacties van bepaalde lichenenstoffen met ammoniak in combinatie met zuurstof leverden de felbegeerde rode en violette kleurstoffen. De ingedikte brij, *orseille*, werd afgenoem door zijdefabrieken in Lyon en Parijs. Later verbeterde men het procédé door rechtstreeks extractie met ammoniak toe te passen.

Langzaam maar zeker zijn de natuurlijke kleurstoffen uit lichenen verdrongen door synthetische anilineprodukten, die beter reproducereerbare kleuren leveren en een grotere lichtechtheid vertonen. Tevens hechten deze nieuwe kleurstoffen, in tegenstelling tot orseille, ook goed aan allerlei synthetische weefsels. Opmerkelijk is dat er nog steeds een met korstmossen geverfd wolproduct stand houdt, de befaamde *Harris Tweed*. Dit weefsel wordt met name nog gemaakt op het eiland Harris, in het noorden van Schotland, uit sterke langharige wolsoorten. Voor verwerking kookt men de wol onder toevoeging van bepaalde korstmossensoorten. Hoe groter de hoeveelheid korstmossen en hoe langer de kooktijd, hoe intensiever de kleur wordt.

Lakmoe, dat al vanouds in de scheikunde gebruikt wordt als een indicator om zuren en basen te onderscheiden, wordt eveneens gemaakt op basis van *Roccella*. Voor zover bekend is het enige westerse bedrijfje dat lakmoe op deze wijze produceert in Nederland gevestigd.

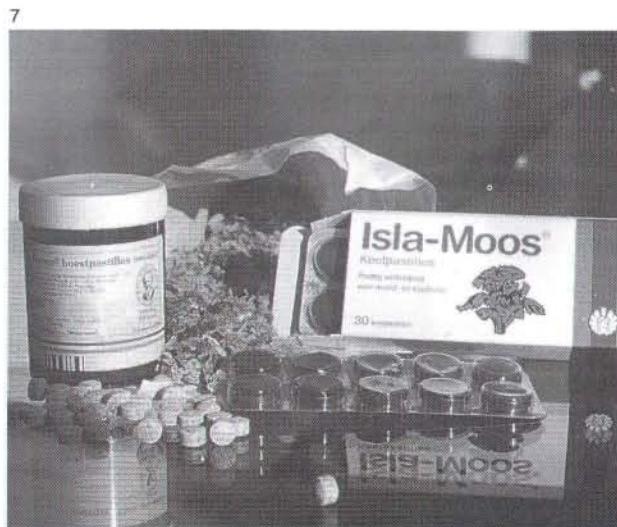
Geneeskrachtig

Zoals uit kruidboeken valt op te maken, speelden lichenen al in de Griekse oudheid een rol bij de bereiding van geneesmiddelen. Naamgeving en herkenbaarheid lieten in die tijd wel te wensen over, hetgeen, zoals men zich kan voorstellen, aanleiding gaf tot de nodige vergissingen. Met name in de late Middeleeuwen werd een groot aantal soorten aangewend bij zeer uiteenlopende stoornissen, zoals diabetes, leveraandoeningen, longziekten, hoofdpijn en neusverkoudheid. *Peltigera canina* gold, vermengd met zwarte peper en melk, als medicament tegen hondsdolheid. Ook ging men er volgens de *signatuurleer* van uit dat planten geneeskrachtig zijn tegen aandoeningen aan lichaamsdelen waar ze uiterlijk overeenkomsten mee vertonen. Om die reden zag men in steenkorstmos *Xanthoria parietina* een medicijn tegen geelzucht en schreef men aan het baardvormige *Usnea* bijzondere krachten toe als haargroeimiddel. Uitgaande van deze gedachte is longenmos (*Lobaria pulmonaria*) heilzaam bij longaandoeningen. Het thallus vertoont immers een putjesstructuur die veel lijkt op de binnenzijde van het longoppervlak. Een aftreksel van dit korstmoss wordt ook nu nog in de homeopathie bij astma en hoest aanbevolen. Thee van rendiermos (*Cladina rangiferina*) en IJslands mos (*Cetraria islandica*) fungeert al vanouds als een probaat middel te-

7. Enkele, in Nederland verkrijgbare, homeopathische geneesmiddelen met korstmosbestanddelen. Islamoos-keelpastilles bijvoorbeeld bevatten IJslands mos (*Cetraria islandica*), dat ook als thee verkrijgbaar is. In A. Vogel's *Usneahoestpastilles* komt naast IJslands mos ook *Usnea barbata* voor.

8. Lecanoorzuur ($R = H$) en everniazuur ($R = CH_3$). Deze en enkele aanverwante depsiden vormen de basis voor de purperen kleurstof orseille. De twee aromatische ringen, verbonden door de COO-groep, zijn karakteristiek voor alle depsiden.

9. Weinigen zullen zich realiseren dat miniatuurboompjes en -struikjes in maquettes of in het landschap rond de modeltrein uit korstmossen vervaardigd zijn. *Cladina*-soorten worden voor dit doel groen geverfd en met glycerine behandeld, om het brosse materiaal soepel te houden.



gen hoest en ziekten van deademhalingsorganen; het bevordert de doorbloeding van de slijmvliezen.

Vlak voor de Tweede Wereldoorlog ontdekte men de antibiotische werking van de lichenstof usninezuur op bepaalde bacteriën en schimmels. Dit licheenzuur, onder meer gewonnen uit *Cladina stellaris*, een korstmoss dat uitbundig voorkomt op de Noordeuropeesetoendra's, wordt toegepast bij bepaalde huid-infecties. Verwerkt in poederpreparaten en zalf is het onder de namen 'Usno' en 'Usniplant' in de handel. In Duitse apotheken worden nog steeds talrijke geneesmiddelen verkocht, waarin bestanddelen van korstmossen (Flechten) verwerkt zijn.

Van noodrantsoen tot delicatesse

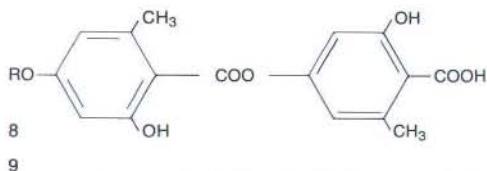
Tot besluit willen we nog even stilstaan bij de rol van korstmossen als voedselbron. Lichenen dienen tegenwoordig de mens nauwelijks tot voedsel. Vroeger at men in noordelijke landen onder meer *Cetraria islandica* en *Cladina stellaris*, na een speciale behandeling om de bittere bestanddelen te verwijderen. Broden vervaardigd met roggeomel waaraan dit materiaal was toegevoegd, bleken zeer lang houdbaar te zijn. Deze eigenschap valt ongetwijfeld toe te schrijven aan de antibiotische werking van bepaalde lichenstoffen. Vooral op lange zeeritten bleek dit een uitkomst. Het korstmoss *Lecano-*

ra esculenta dat op de Krim, in Klein-Azië en in Noord-Afrika een algemene verschijning is, is zonder voorbehandeling voor consumptie geschikt. De Tartaren verwerken dit regelmatig in hun broden. In arctische gebieden hebben korstmossen ook hun nut bewezen als noodrantsoen voor pelsjagers en verdwaalde expediteleden.

In bepaalde culturen staan korstmossen nog steeds op het menu. Saoedië Arabië importeert *Parmelia austrosinensis* onder meer uit India. Het verleent vleesschotels een specifiek aroma, met als bijkomend voordeel dat er een bederwerende werking van uitgaat. Indianen eten *Umbilicaria muhlenbergii* gekookt met vis of vlees, evenals *Alectoria jubata*, dat zij bereiden met behulp van hete stenen in een gat in de grond. Eskimo's in Noord-Canada doen zich in de wintermaanden tegoed aan gedeeltelijk verteerde lichenen uit de maag van kariboe's en muskusossen en in Japan verzamelt men, aan touwladders hangend, de op steile rotsen groeiende *Umbilicaria esculenta*. Dit korstmoss geldt als een delicatesse en het wordt bereid tot soep en salade of in vet gebakken.

Lichenen hebben ook indirect bijgedragen aan de voedselvoorziening. In tijden dat suikerbieten schaars waren, zoals tijdens de Tweede Wereldoorlog, dienden in Rusland korstmossen als grondstof voor de suikerproductie. Jaarlijks werd voor dit doel 30 tot 35 ton gedroogde korstmossen gebruikt. Verder zou in enkele Siberische kloosters longenmos (*Lobaria pulmonaria*) in plaats van hop, gebruikt zijn bij de bereiding van bier, om dit bitter en houdbaar te maken.

De betekenis van korstmossen als voedsel voor dieren is vele malen groter dan die voor de mens. Lichenen leveren hier en daar, vooral in de winter, een bijdrage aan de voeding van koeien, schapen en geiten. Voor de rendieren en kariboe's van de noordelijke toendra's vormen korstmossen en mossen echter het hoofdvoedsel. Oorspronkelijk waren de Lappen geheel aangewezen op het houden van rendieren en door hun nomadenbestaan was er geen sprake van overbeweidiging, maar nu zij zich in toenemende mate vestigen, krijgen korstmossen in die gebieden niet genoeg kans meer om te regenereren. Een bijkomend probleem is dat korstmossen bepaalde stoffen, waaronder radioactief radium en cesium afkomstig van fallout na atoombomexperimenten, in hoge mate



Licheenstoffen

De vorming van lichenenstoffen gebeurt in nauwe samenwerking tussen de schimmel- en de alg-component van het korstmoss. De schimmel (fy-cobiont) bouwt deze secundaire stofwisselingsprodukten op, uitgaande van de primaire fotosyntheseprodukten die door de alg gemaakt worden. Volgens de onderzoeker Sérusiaux bezit de schimmelcomponent de genetische informatie om de enzymen te maken die nodig zijn voor de synthese van secundaire produkten, zoals depsidonen, anthrachinonen, usninezuur en hogere vetzuren. *In vitro* geuiteerde schimmels die uit lichenen geïsoleerd zijn, schijnen echter niet in staat te zijn om deze secundaire lichenzuren zelfstandig te produceren. Ahmadjian en Jacobs hebben experimenteel aangetoond dat de geïsoleerde schimmel wel in staat is lichenenstoffen op te bouwen als men de groenwierpartner toevoegt.

Laten we het nut van lichenenstoffen voor de korstmossen zelf eens nader bekijken. Volgens sommige lichenologen beïnvloeden lichenzuren het substraat zodanig, dat het een geschikte groeiplaats voor het korstmoss vormt. Deze hy-

pothese is tot op heden echter nog onvoldoende onderzocht. Interessant is wel dat een waterig afbrekkel van bepaalde lichenen de kieming van zaden en de wortelontwikkeling bij grassen verhindert. In een gesloten korstmossentapijt op de bodem worden grassen daadwerkelijk geweerd. Er zijn ook wetenschappelijk onderzoekers die meen dat de lichenzuren het organisme beschermen bieden tegen insektenvraat of tegen aantasting door bacteriën en schimmels. Het is weliswaar bekend dat lichenenherbaria niet voorbehandeld hoeven te worden tegen dergelijke organismen, maar nergens is afdoende bewezen dat lichenzuren voor deze beschermende werking verantwoordelijk zijn. Bij sommige lichtminnende korstmossen, zoals *Caloplaca* behoeven anthrachinonen, die meestal geel of oranje van kleur zijn, de alg voor te sterke zonnestraling. Deze chemische verbindingen lijken als een filter te fungeren.

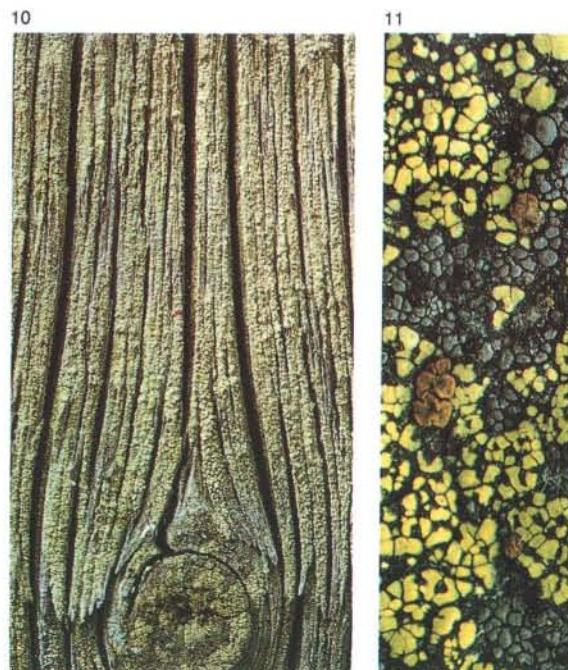
Genoemde lichenenstoffen, die soms in grote hoeveelheden in het thallus voorkomen, vormen een belangrijk kenmerk bij het determineren (op naam brengen) van korstmossen. Zij geven specifieke kleurreacties met indicatoren als kaliumhydroxyde (KOH), parafenyleendiamide of na-

accumuleren. Zo vormen zij een bedreiging, met name voor organismen die aan het einde van de voedselketen staan zoals de mens.

Al met al hebben we in dit artikel nog maar een vluchige indruk gekregen van de gebruiksmogelijkheden van korstmossen. Voor uitgebreidere informatie over deze bijzondere scheppingen der natuur verwijzen we naar onderstaande literatuur.

10. De korstvormige *Lecanora conizaeoides* is goed bestand tegen luchtverontreiniging. Struikvormige soorten sterven echter al bij geringe SO₂-concentraties af. Een korstmossvegetatie geeft, op grond van zulke gevoeligheidsverschillen, een indruk van de mate van verontreiniging. Bij luchtvervuiling met metalen is, op basis van concentraties in één soort, een uitspraak over aard, bron en reikwijdte van de vervuiling mogelijk.

11. Landkaartmos (*Rhizocarpon geographicum*) is een soort die in de lichenometrie gebruikt wordt om rotsoppervlakken te dateren. Aan de hand van de groeihsnelheid kan de leeftijd van het grootste aanwezige exemplaar en daarmee de ouderdom van het gesteente bepaald worden. Aanvullende gegevens zijn vaak nodig om meer zekerheid te geven.



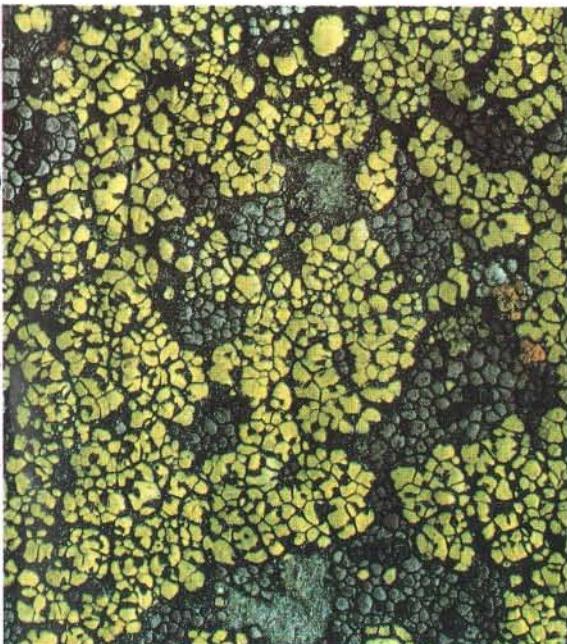
riumhypochloriet (NaOCl). Dikwijls is het mogelijk lichenzuren te extraheren in warme acetone en ze nadien te laten rekristalliseren op een objectglas, waarna men de kristallen microscopisch kan bestuderen.

Een techniek, die sinds de jaren zestig in lichenologische kringen veel gebruikt wordt, is de *dunne-laagchromatografie*. Daarmee krijgt men een beeld van de chemische samenstelling van een korstmoss. Exemplaren van eenzelfde soort bevatten doorgaans dezelfde lichenstoffen; tussen soorten van één geslacht bestaan soms grote verschillen. Wanneer uiterlijke determinatiekenmerken niet genoeg zekerheid verschaffen over de juiste benaming, kunnen bovengenoemde kleurreacties vaak uitsluitsel geven. Toch komt het voor dat twee morfologisch gelijke individuen van één soort qua lichenstoffen op een enkel punt verschillen. Men spreekt in zo'n geval van verschillende 'chemische rassen'.

M. Asperges



II-1. Usninezuurkristallen. Lichenstoffen kristalliseren bijzonder goed. Daarbij ontstaan vaak karakteristieke, naaldvormige of struikvormige kristallen, die onder de polarisatiemicroscoop prachtig gekleurd zijn.



Literatuur

- Dobben HF van, Nieboer E, Richardson DHS. Korstmossen – Bio-indicatoren voor luchtkwaliteit. Natuur & Techniek 1982; 50: 870-889.
 Hale Jr ME. The biology of lichens. London: Edward Arnold, 1983.
 Henssen A, Jahns HM. Lichenes. Eine Einführung in die Flechtenkunde. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1974.
 Jahns HM. Elseviers gids van varens, mossen en korstmossen. Amsterdam/Brussel: Elsevier, 1981.
 Kruyt W. Korstmossen – Wondelijke vertegenwoordigers van het plantenrijk. Zutphen: Thieme, 1986.
 Richardson DHS. The vanishing lichens. New Abbot: David and Charles, 1975.

Bronvermelding illustraties

- Crevel R van, Leiden: opening, 2, 3, 4, 11.
 Asperges M, Diepenbeek: 1, I-1, II-1.
 Centraal laboratorium voor onderzoek van voorwerpen van kunst en wetenschap, Amsterdam: 5, 6.
 Roos CFM de, Nijmegen: 7.
 Kruyt W, Haarlem: 9.
 Otten P, Deurne: 10.

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

¶ Prof dr E.J. Ariëns heeft maar een klein bureau op het door hem zelf opgerichte Instituut voor Farmacologie in Nijmegen. Als hij zijn stoel te ver naar achteren schuift, stoot hij zich tegen een archiefkast en zijn kamer deelt hij met anderen. Toch geniet de nu 70-jarige hoogleraar zichtbaar. Hij is sinds enkele jaren met emeritaat en kan zich helemaal aan wetenschappelijke hobbies wijden, zonder lastig te worden gevallen door gesel nummer één van het universitaire bestaan: de vergadering.

Ariëns: "Eindelijk doe ik alleen maar werk dat ik leuk vind en de consequentie is dat ik harder werk dan ik ooit heb gedaan. Weliswaar doe ik mijn hele leven al dingen waar ik plezier in heb, maar aan vergaderen had ik echt de pest. Ik heb me nooit aan bestuurlijke taken op de universiteit ontrokken, maar leuk vond ik het niet. Dat is nu voorbij, ik vergader niet meer en als gevolg daarvan ligt mijn wetenschappelijke produktiviteit zeer hoog."

"Van de universiteit mag ik aan dit bureau zitten, ik mag kopieren en gebruik maken van de bibliotheek. Ik krijg natuurlijk geen salaris meer, nee, als compensatie voor de diensten van de universiteit stort ik voordracht-honoraria in de universiteitskas. Al met al ben ik voor de universiteit een aantrekkelijk wetenschappelijk koopje."

Een van de hobbies waar Ariëns – die zich voor zijn emeritaat vooral toe heeft gelegd op het bestuderen van de werking van biologisch actie-

ve molekülen in het menselijk lichaam – zich de laatste jaren op heeft gestort is de *stereo-selectiviteit*. Dat is het verschijnsel dat er van een stof

koolstofatoom door vier verschillende atomen of atoomgroepen wordt omringd. In dat geval (een asymmetrisch centrum) vertonen de spiegel-

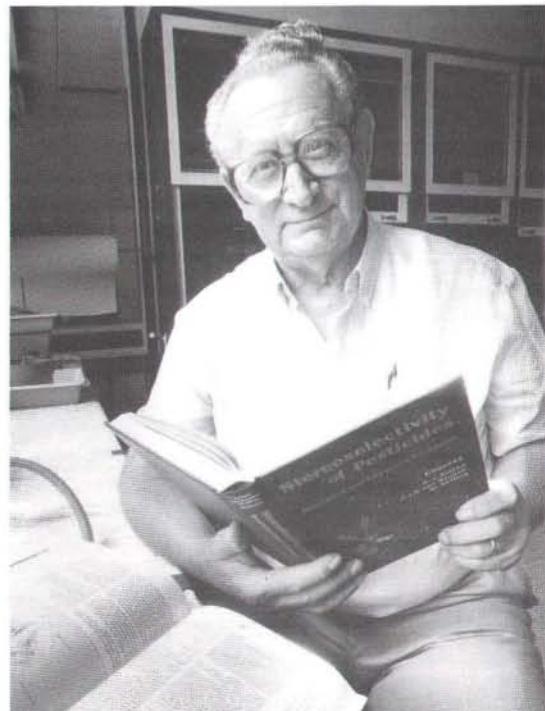
Spiegelbeelden

Simon Rozendaal

twee verschillende vormen (*stereo-isomeren*) bestaan die moleculair elkaars spiegelbeeld zijn. Dat kan bijvoorbeeld gebeuren wanneer een

beelden van deze stoffen – alhoewel hun structuurformules op elkaar lijken als de helften van een paar handschoenen – een totaal ander

Prof. Ariëns:
"Wetenschap is eigenlijk een kwestie van gezond boerenverstand". (Foto: Rinus de Hilster/ Elsevier.)



chemisch en fysisch gedrag in het menselijk lichaam en in de natuur. De één kan bijvoorbeeld een nuttig geneesmiddel zijn en de ander een gif: niet eens zo'n gezocht voorbeeld als men zich realiseert dat dit speelde bij het *thalidomide* (softenon)-schandaal.

In de natuur komt bijna altijd slechts één van de twee spiegelbeeldmolekülen voor (ze worden uit elkaar gehouden met de termen linksdraaiend en rechtsdraaiend – als de spiegelbeelden van een wijzerklok). Gaat een chemicus in een reageerbuis of in een fabriek zo'n stof maken dan ontstaat er meestal een fifty-fifty mengsel van de twee spiegelbeelden, een *racemisch mengsel*. Het vervelende hiervan is dat wanneer men deze gesynthetiseerde stoffen vervolgens voor gebruik in de natuur dan wel het menselijk lichaam wil inzetten, vaak

maar de helft van het produkt actief is.

Ariëns: "Van de pesticiden die in de landbouw worden gebruikt bestaat 15 procent uit racematen en van de geneesmiddelen in de apotheek is 25 procent racemisch. Dat betekent in al die gevallen dat er voor de helft *isomere ballast* wordt verkocht. Soms is dit zelfs pure milieuvontreiniging. Dat betekent dat wanneer een boer duizend kilo pesticide over zijn land uitstrooit daar 500 kilo bij zit die helemaal geen insectendodende of onkruidverdelgende werking heeft en zonder enig nut het milieu verontreinigt. Hetzelfde geldt voor de geneesmiddelen in een apotheek. Die bestaan soms voor de helft uit beslist niet altijd onschadelijke ballast."

In 1984 heeft Ariëns in een geruchtmakend artikel in het European Journal of Clinical

Pharmacology aandacht gevraagd voor dit probleem. Het artikel had overigens een typische Ariëns-titel: 'Stereochemistry, a basis for sophisticated nonsense in pharmacokinetics and clinical pharmacology'. Als er immers iets is waar de Bourgondisch ogende emeritus-hoogleraar niet van kan worden beschuldigd, dan is het wel wetenschappelijke droogstoppeligheid.

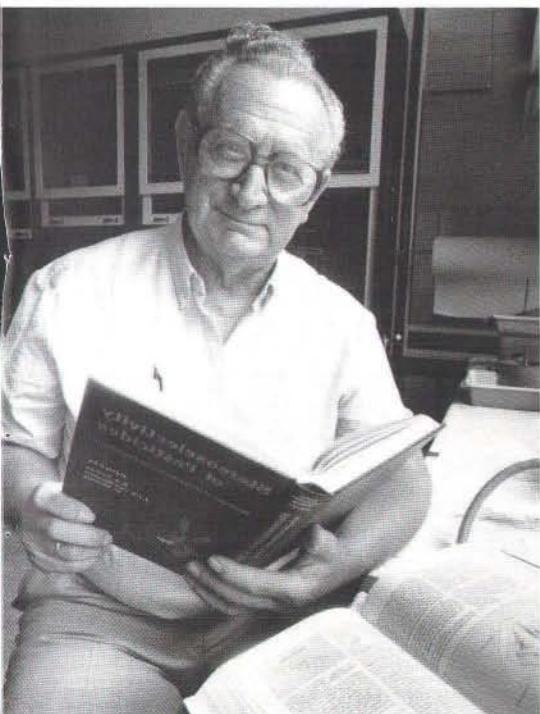
In dat artikel betoogde Ariëns dat het toch volslagen prehistorisch is dat we in dit tijdperk van hi-tech en geavanceerde wetenschap nog steeds doorgaan met het produceren en gebruiken van racemische mengsels, die schade aan mens en milieu kunnen toebrengen, terwijl vaak de techniek en kennis inmiddels voorhanden zijn om selectief één van de twee spiegelbeeldmolekülen te produceren.

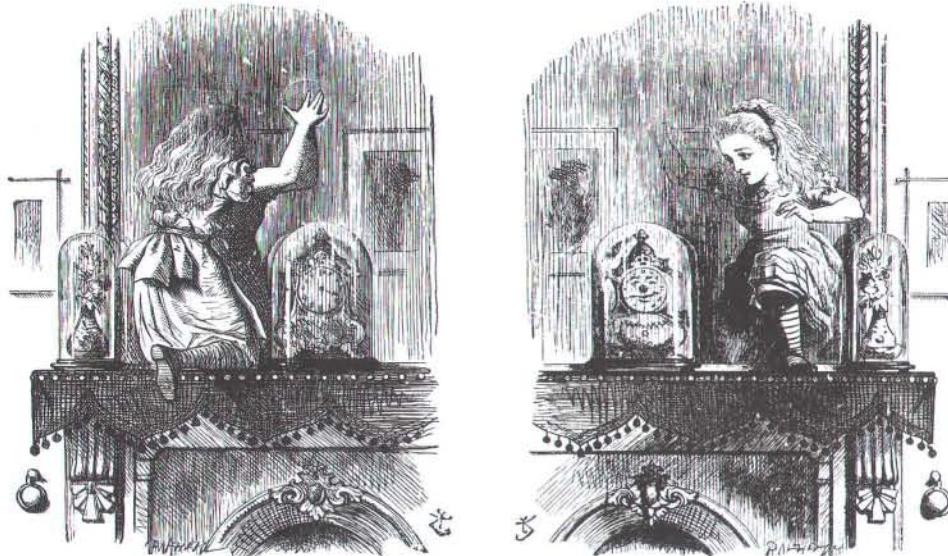
Hij gaf tal van voorbeelden waar de spiegelbeeldmolekülen heel anders reageren. Rechtsdraaiend *ketamine* is bijvoorbeeld een pijnstiller en een hypnoticum terwijl linksdraaiend ketamine juist voor allerlei vervelende bijeffecten tekent. Bij enkele *barbituraten* word je van linksdraaiende isomeer depressief en heeft het rechtsdraaiende molekuul juist een diametraal tegengestelde werking.

De Japanse dreiging

Het artikel sloeg aan in wetenschappelijke kring en sindsdien wordt Ariëns beschouwd als één van de internationale experts op dit nieuwe gebied. Want nieuw lijkt het, ondanks dat de kennis over stereo-isomerie en stereoselectiviteit al een eeuw (Van 't Hoff en Pasteur) oud is. Pas de laatste jaren echter zijn er methoden beschikbaar gekomen om op betaalbare wijze

Prof. Ariëns:
"Wetenschap is
spiegelbeeld
kwestie van de
soort
stuur". (Foto:
Rinus de Huisjer/
Elsevier)





Lewis Carroll bewees al vorige eeuw dat er een wereld achter de spiegel te ontdekken is.
(Tekening: Sir John Tenniel.)

slechts één van de twee spiegelbeeldmolekulen te produceren in plaats van het racemische duo. Verschillende bedrijven (DSM, Duphar en Ibis, de nieuwe joint-venture van Shell en Gist-brocades) hebben aangekondigd zich op dit soort produktietechnieken te willen toeleggen.

Dat moet ook wel, vindt Ariëns, want er is een dreiging uit het Oosten. Ariëns: "In Japan heeft men kort geleden de wet aangepast zodat een producent in het geval van een racemisch mengsel ook van de niet-werkzame stof moet aangeven wat het is en wat het doet. Nu, als een industrie zoveel moeite moet doen, halen ze de niet-werkzame stof er liever uit. Het gevolg daarvan is dat de Japanse industrie en de Japanse wetenschap inmiddels veel sterker zijn in de stereoselectieve synthese – een wetenschapsgebied met grote economische potentie. Een interessant detail van de nieuwe Japanse wet is tevens dat de Japanse

markt nu in feite gesloten is voor de racemische mengsels uit Europa en de Verenigde Staten terwijl de Japanse stereoselectieve pesticiden en geneesmiddelen in de toekomst bijna altijd beter zijn dan hun Europese en Amerikaanse concurrenten, tenzij die tijdig overstag gaan."

Overigens lijkt dit eens te meer een voorbeeld dat de stelling dat Japan niet zo goed zou zijn in fundamentele wetenschap, niet meer op gaat. Ariëns: "Ach, wat noem je fundamenteel en wat niet? De Japanners zijn in elk geval op dit terrein zeer goed. Onlangs was ik weer op een congres hierover en de betere voordrachten waren Japans. Of je het dan als eerste ontdekt, dan wel toepast, vind ik niet zo belangrijk. De hele wetenschap is toch eigenlijk een kwestie van gezond-boerenverstand denken en associëren. Boerenverstand toepassen op nuttige zaken, nu, dat doen de Japanners in dit geval slimmer dan wij."

Het gebruik van racemische mengsels kan ook veel medisch onderzoek vertekenen, zo merkt de arts en tevens chemicus op. Bij veel meetmethoden wordt namelijk geen onderscheid gemaakt tussen de spiegelbeeldmolekülen. Ariëns: "Dit betekent dat veel gegevens in de farmacie, bijvoorbeeld over concentraties, persistentie en halfwaardetijden in feite onbruikbaar zijn, omdat ze de som van een werkzame en een onwerkzame stof betreffen. Die getallen zeggen dan evenveel als de leeftijd van een familie van vier personen."

Dat de ontwikkelingen op dit gebied minder hard gaan dan in Japan komt omdat men op tal van niveaus te weinig belangstelling voor en kennis van de spiegelbeeldproblematiek heeft. Ariëns heeft het in dit verband – met een knipoog naar de tribune – over *stereofobie* bij de chemische en farmaceutische producenten en een *astereognosie* bij de gebruikers – landbouwdes-

kundigen, klinici en milieu-deskundigen.

Ariëns: "De industrie heeft bijvoorbeeld de neiging om te zeggen dat het onbetaalbaar is. Meestal is de prijs van een stereo-isomeer inderdaad hoger dan van het racemische mengsel. Echter, in dat racemische mengsel zit vijftig procent ballast. En ga je naar de actieve stof kijken dan blijkt de prijs vaak gelijk. Dat wordt bewezen door het racemische onkruidbestrijdingsmiddel *mecoprop*. Dat wordt sinds kort door Basf als de werkzame isomeer onder de naam *duplosan* op de markt gebracht. Berekend per actieve stof blijkt dit duplosan even duur als het racemisch mengsel *mecoprop*. Let je bijvoorbeeld op de kosten van

het eerder genoemde racemische mengsel *mecoprop* op een termijn van één tot drie jaar plaats moet maken voor rechtsdraaiende isomeer *dulposan*.

Op farmaceutisch gebied is men nog niet zo ver. "Het grote probleem is hier de industrie. Die heeft natuurlijk heel veel geneesmiddelen in de *pipeline* zitten en daar zitten vanzelfsprekend ook racemische mengsels bij. De industrie zit dus helemaal niet te springen om een voorkeursbehandeling zoals bij *duplosan*. Maar ja, ook op dit gebied denk ik dat we over tien jaar de zaak hebben geklaard."

Wat Ariëns stoort, is dat de milieubeweging en de milieu-wetenschap geen enkele belangstelling tonen voor dit on-

niets voor. Die zijn principieel tegen. Die vinden zo gezegd veilige auto's uit den boze want auto's horen nu eenmaal niet op de weg."

"Begrijp me goed, ik wil niet iedereen over één kam scheren. Zo iemand als Lucas Reijnders bijvoorbeeld, die hebben we nodig in Nederland, die blijft de grenzen van nuchterheid en wetenschappelijkheid in de gaten houden en bij zo iemand vind ik het ook helemaal niet erg dat hij regelmatig op televisie aandacht vraagt voor milieuproblemen. Maar sommige milieujongens doen me af en toe te veel aan Amerikaanse televisiedominees denken, als je begrijpt wat ik bedoel."

Homeopathie

¶ De stereoselectiviteit is niet de enige intellectuele excusie die Ariëns zich sinds zijn emeritaat permitteert – ook op het gebied van de *homeopathie* en de andere alternatieve geneeswijzen laat hij regelmatig van zich horen. Ook de afgelopen zomer nog eens – in diverse dag- en weekbladen – toen naar aanleiding van de verdunningsexperimenten van de Franse immunoloog Jacques Benveniste de homeopathie korte tijd opeens onverwachte wetenschappelijke steun leek te hebben.

Ariëns' bemoeienissen met de homeopathie komen gedeeltelijk voort uit zijn zorg dat de alternatieve geneeswijzen straks met alle veranderingen in de gezondheidszorg die door de commissie-Dekker zijn afgedwongen, in het basisspakket zullen komen. Volgens Ariëns zal dit jaarlijks een half tot een heel miljard gulden gaan kosten.

Weliswaar hoeft er van Ariëns niet geruzied te worden over de vraag of de homeopathie

Sommige milieujongens doen me af en toe te veel aan Amerikaanse televisiedominees denken

transport van het onwerkzaam bestanddeel naar landen in Afrika, dan blijkt snel dat het kortzichtig is om het racemisch mengsel goedkoper te noemen."

"Bij de bureaucraten spelen weer andere problemen. Daar zegt men: hé, een 'nieuwe stof', die moet opnieuw worden geregistreerd. Ook denken de ambtenaren vaak dat de industrie alleen probeert, met de zoveelste truc een aflopende octrooipositie te nieuw leven in te blazen."

Gelukkig is er, althans op pesticidengebied, in Nederland nu een eerste principebesluit genomen. De kogel is door de kerk. De Nederlandse overheid heeft besloten dat

onderwerp. "Vooral bij pesticiden is er sprake van een aanzienlijke milieouverontreiniging door de isomere ballast. Ik lees echter nooit in tijdschriften van de milieubeweging over dit onderwerp. Ik heb wel eens een afdeling milieuwetenschap opgebeld, maar tot mijn verbijstering begrepen ze geloof ik zelfs helemaal niet waar ik het over had."

"Een probleem voor de milieubeweging is natuurlijk, dat realiseer ik me goed, dat ze zich op glad ijs begeven. Ze moeten dan namelijk onderscheid gaan maken tussen het pesticide dat wel relatief goed is en minder goede. Nogal wat milieu-activisten voelen daar

en andere alternatieve geneeswijzen sommige categorieën patiënten helpen, want daar is hij het mee eens, maar desalniettemin vindt hij het toch vaak veredelde kwakzalverij (al past hij zorgvuldig op bij het gebruik van dat beladen woord). Zijn motto in dit verband is: "het helpt wel maar het werkt niet".

Daarmee refereert hij aan wat volgens hem het echte probleem is: dat een groot deel van wat in onze samenleving ziekte wordt genoemd, in feite 'gemedicaliseerde onlust' is. Bij veel ziektes als migraine, hoofdpijn, gewrichtspijn en astma is er veelal sprake van een psychosomatisch ziektebeeld. De homeopathie

kan hier veel verrichten, maar dat kan een beetje melksuiker ook, mits de patiënt gelooft dat hij of zij een veelbelovend geneesmiddel krijgt toege diend. Ariëns wijst er op dat uit wetenschappelijk onderzoek is vastgesteld dat dit zogenaamde *placeboeffect* (een placebo is een schijnmiddel) verantwoordelijk is voor de verbetering van de conditie van veel patiënten met psychosomatische klachten.

Ariëns: "Het onvermogen om met stress om te gaan ligt ten grondslag aan een groot deel van ons ziek zijn. Onbeheerde stress kan door aantasting van de fysieke weerstand de gezondheid schaden. Dat is het probleem. Beperking van

de sinds decennia groeiende medicalisering van de onlust vraagt om stressbeheersing. Niet door het beschikbaar stellen van een alles koesterende zorg van wieg tot graf, een grondrecht dat stressbestendigheid uitholt en nihileert, maar door het aankweken van mentale zelfredzaamheid – het vermogen tot zinig en zinvol reageren, ook in schijnbaar bedreigende omstandigheden.

Bij het ontbreken van die mentale zelfredzaamheid resteert slechts de passieve benadering, de met klachten beladen vlucht, liefst via de spreekkamer van de arts naar de crèche van het alternatieve genezen."

In aanval tegen de hartaanval

John Zuidgeest



Recent is in Nederland een nieuw middel tegen hartinfarcten geïntroduceerd nadat de Commissie ter Beoordeling van Geneesmiddelen er haar goedkeuring aan had gehecht. Die goedkeuring was daarvoor al in een tiental andere landen verworven. Het middel heet TPA, voluit *Tissuetype Plasminogen Activator*, een eiwit dat in staat is bloedpropen op te lossen. Een eigenschap die TPA zeer geschikt maakt om zo kort mogelijk na het begin van een hartinfarct toe te dienen. Dit infarct ontstaat doordat een bloedprop in de hartkran slagader de doorstroming van het bloed sterk afremt of helemaal blokkeert. Het hart, een

orgaan dat zeer zware arbeid moet verrichten, krijgt dan niet voldoende zuurstof en voedingsmiddelen meer, met als gevolg dat een deel van het hartspierweefsel afsterft. Dat afstervingsproces begint ongeveer na een half uur en is na vier tot vijf uur voltooid. Zo snel mogelijk deader weer open krijgen is dus van vitaal belang, en TPA kan hier goede diensten bewijzen omdat het *intraveneus* kan worden toegediend door hartambulancepersoneel, zodat geen kostbare tijd verloren gaat op weg naar het ziekenhuis. Dat moet dan wel via een infuus gebeuren, want TPA is een half uur na toediening al uit het bloed verdwenen, zodat

een continue toediening geboden is. Dat het zo snel verdwijnt lijkt een nadeel, maar in feite is het een voordeel, want daardoor kan al vrij snel na stopzetting van de behandeling geopereerd worden, als dat nodig mocht zijn, zonder ernstige complicaties in verband met bloedingen. Een ander voordeel van TPA is dat het een lichaamseigen stof is, zodat afstotingsreacties in principe achterwege blijven. TPA is in de jaren veertig ontdekt. De Nederlander dr D.C. Rijken van het Gaubiusinstituut van TNO in Leiden wist het als eerste te isoleren, in samenwerking met prof Collen uit Leuven. Dat isoleren is een moeizame zaak, want TPA

komt slechts in uiterst minimale hoeveelheden voor in het bloed: 1 nanogram (10^{-9} g) per milliliter. Dat werd iets beter toen baarmoederweefsel als bron genomen werd, maar het bleef behelpen, want voor 1 milligram TPA was 5 kilo baarmoederweefsel nodig. De winnungs-technieken werden wel wat verbeterd, maar meer dan een beetje voor onderzoeksdoelen kwam er niet uit. Totdat in 1983 Genentech in Californië erin slaagde de menselijke eigenschap die zorgt voor de aanmaak van TPA in te bouwen in de ovariumcellen van de chinees hamster. Dat opende de weg naar een produktie op grote schaal, hoewel die grote schaal wel tussen aanhalingstekens geplaatst moet worden als je het in kilogrammen uitgaat drukken.

Genentech neemt de Verenigde Staten en Canada voor zijn rekening en op een paar uitzonderingen na is Boehringer Ingelheim de licentieproducent voor de rest van de wereld. Boehringer brengt het produkt onder de naam Actilyse op de markt, tegen de prijs van 4000 gulden per behandelingsdosis.

Chinese hamster

Voor de biotechnologische produktie van Actilyse is in het Zuidduitse Bibereach een ultramoderne fabriek neergezet, die 140 miljoen mark gekost heeft. In de diepvries is een voorraad gerecupereerde ovariumcellen van de chinees hamster, waar regelmatig uit geput wordt. Een kleine hoeveelheid wordt eerst op schaal opgekweekt in kleine reactorvaten van 80 liter waarin de juiste voedingsoplossing, zuurgraad, temperatuur en zuurstofvoorziening wordt geregeld.



Het enten van hamsterovariumcellen. (Foto: Boehringer Ingelheim.)

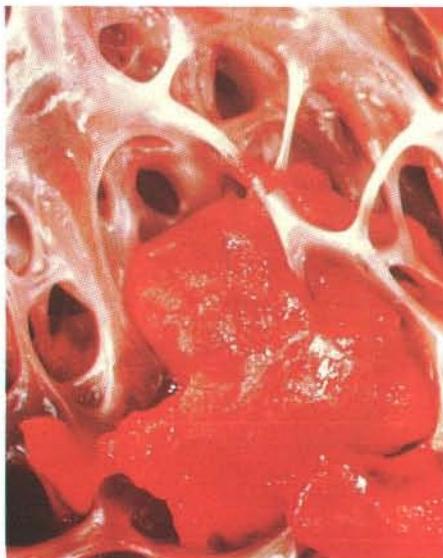
"Hier wonen ze nou," zegt een werknemer die de rondleiding verzorgt, wijzend op een klein vat. "Het vat zit niet helemaal vol, dat zou te bezaaid voor ze zijn, ze moeten zich lekker voelen," zegt hij, alsof hij het over huisdieren heeft. Ook door anderen in de fabriek wordt trouwens

Tienduizenden hamstercellen zijn dus druk bezig met de produktie van TPA, dat er langs biochemische weg via een indrukwekkende zuiveringssbatterij uitgehaald wordt. De hamstercellen vinden hierbij een roemloos einde. Als je al die grote reactorvaten ziet krijg je de indruk dat er per

"Hier wonen ze nou"
zegt een werknemer, wijzend op een vat

over de hamstercellen als troeteldieren gepraat. De cellen vermenigvuldigen zich snel, ieder uur is er een verdubbeling van de bevolking. Als ze op een gegeven moment uit hun huis dreigen te groeien gaan ze naar grotere vaten van 400 liter, daarna naar vaten van 2000 liter, om uiteindelijk te eindigen in vaten van tienduizend liter. Dat hele proces duurt 100 tot 150 dagen.

jaar heel wat TPA geproduceerd wordt, maar dat blijkt een denkfout te zijn. Uit concurrentie-overwegingen wil de directie niet kwijt hoeveel de jaarproductie bedraagt, maar wil wel kwijt dat de jaarlijkse hoeveelheid in twee aktentassen kan. Overigens is die hoeveelheid relatief gezien helemaal niet zo klein, want TPA is zo effectief dat er maar weinig nodig is voor een behandeling, zodat Boehringer uit-



Een verse bloedprop in een hartklep. (Foto: ICI Holland.)

eindelijk voldoende produceert om aan de vraag te kunnen voldoen.

De reactorvaten in Biberach zijn de grootste in Europa voor zoogdiercellen. Voor die hamstercellen is bewust gekozen omdat ze geen neiging tonen tot mutaties, zich goed laten kweken en een produkt van constante kwaliteit leveren. Het werkpaard van de biotechnologen, de darmbacterie *E. coli*, viel af als kandidaat omdat het vormen van TPA produceert die niet de goede structuur hebben. Daardoor is het onoplosbaar en voor intraveneuze toediening ongeschikt. Met gistcellen waren de resultaten ook niet optimaal, zodat uiteindelijk voor de hamstercellen gekozen is, tot ieders tevredenheid.

Concurrentiestrijd

¶ Uiteraard zijn er de nodige klinische proeven gedaan met dit recombinant-TPA, waarbij het thoraxcentrum van het Rotterdamse Dijkzigtziekenhuis een belang-

rijke rol speelde. Uit de proeven bleek een bevredigend vermogen om bloedproppen op te lossen bij een zes uur lange toediening van TPA. Nu is het weer open krijgen van verstopte bloedvaten één ding, een ander belangrijk punt is dat ze na de therapie ook open blijven. Ook wat dat betreft waren de resultaten bevredigend, het recombinant-TPA scoorde niet slechter dan andere preparaten. In de onderzoekwereld is men het erover eens dat dit recombinant-TPA een zeer bruikbaar middel is om een dichtgeslibde hartkranslagader weer open te krijgen. Maar of het ook het beste middel is, daar zijn de meningen duidelijk over verdeeld. Dat bleek op het Internationale Fibrinolysecongres, georganiseerd door het Gaubiusinstituut van TNO, dat onlangs in Amsterdam gehouden is. Er werd zelfs een satellietsymposium gewijd aan een discussie over de voors en tegens van de diverse preparaten.

Er is een duidelijke noodzaak, althans voor de fabrikant,

waarom TPA beter zou moeten zijn: de prijs. Zoals gezegd kost 'n behandeling 4000 gulden, terwijl de cardioloog met streptokinase, een bacterieel produkt, al voor 400 gulden klaar is. Bij zo'n prijsverschil maakt TPA alleen een kans als er sprake is van kwaliteitsverschil. Verder zijn nog op de markt APSAC, urokinase en pro-urokinase, een voorloper van urokinase die nog niet veel gebruikt wordt. Streptokinase wordt het meest toegepast. Het werkt het best als het via een *hartcatheterisatie* direct in de kransslagader wordt gebracht. Dat kan alleen in ziekenhuizen die over zo'n afdeling beschikken. Intraveneus is het effect wat minder, hoewel het effect van intraveneuze toepassing in vergelijking met vroeger wel wat verhoogd is. De directe wederzijdse concurrenten zijn eigenlijk streptokinase en TPA, al was het alleen maar om het prijsverschil. Streptokinase is een eiwit dat uit streptococcen gewonnen wordt, met andere woorden een lichaamsvreemde stof die afstotingsreacties kan oproepen. Het is een produkt dat al enige tijd bestaat. Vooral in het begin waren er nogal wat problemen op het gebied van bijwerkingen, maar de laatste tijd gaat het een stuk beter omdat de zuiverheid van het produkt sterk verbeterd is. Boehringer claimt als voordeel dat TPA een lichaams-eigen eiwit is, dat dus geen afstotingsreacties kan oproepen. Anderen hebben daar hun twijfels over, omdat het geproduceerd wordt door dierlijke cellen, zodat de kans bestaat dat elementen van die cellen aan het TPA vastzitten, tenzij de zuivering optimaal verloopt. Als ander voordeel noemt Boehringer dat TPA al vrij kort na het infarct intraveneus toegediend kan wor-

den door hartambulancepersoneel, zodat zo weinig mogelijk kostbare tijd verloren gaat en het afstervingsproces al vroeg gestopt wordt. Daar wordt tegenin gebracht dat TPA alleen toegediend mag worden als er zekerheid bestaat dat het om een hartinfarct gaat; door de huisarts en/of het ambulancepersoneel zou dan een adequate diagnose gesteld moeten worden. Fouten zijn dan niet uitgesloten, waardoor bij een foute diagnose het middel bij wijze van spreken erger zou zijn dan de kwaal. De schade kan overigens wel beperkt blijven, want als gestopt wordt met de toediening van TPA is het na een half uur uit het bloed. Toediening van streptokinase bij een verkeerde diagnose zou erger zijn, omdat het veel langer werkt. Dat TPA snel uit het bloed verdwijnt wordt door Boehringer ook gehanteerd als voordeel voor wanneer er geopereerd moet worden of als er ernstige bloedingen zijn. Helaas werken alle preparaten niet alleen daar waar een

stolsel opgelost moet worden; het stollingsmechanisme is ook op andere plaatsen verstoord. Vandaar dat een van de bijwerkingen van alle preparaten het optreden van bloedingen kan zijn. TPA heeft dan, evenals pro-urokinase, het voordeel dat het maar kort in het bloed verbleeft. Overigens is volgens een aantal deskundigen ook het risico van streptokinase te verkleinen door de dosis te verlagen. De juiste dosis is zowel bij streptokinase als bij TPA nog een discussiepunt. Duidelijk is dat het onduidelijk blijft welk middel te prefereren valt, dat hangt waarschijnlijk van de situatie af. De diverse middelen zijn tot nog toe niet goed met elkaar vergeleken. Een groot vergelijkend onderzoek zou uitkomst kunnen bieden, en er zijn plannen om iets dergelijks op te gaan zetten. Uiteraard is het om menselijke redenen uitgesloten om in zo'n onderzoek met een controlegroep te werken die een *placebo* krijgt na een hartinfarct. De discussie over welk middel

nou het beste is, is nog volop gaande, maar in ieder geval kan wel gezegd worden dat de levenskansen voor iemand die een hartinfarct krijgt een stuk beter zijn dan vroeger. De kans dat de aderen weer dichtslibben is kleiner geworden, terwijl ook de kwaliteit van het leven na een hartinfarct is verbeterd.

Het gaat hier over middelen die ingezet kunnen worden als het kwaad al geschied is. Better is het natuurlijk te voorkomen dat een hartinfarct optreedt. Wat dat betreft zijn er eveneens interessante ontwikkelingen. Op de Technische Universiteit in Enschede is een apparaat gedemonstreerd, een prototype nog, dat vast kan stellen wie een verhoogd risico op een hartinfarct heeft. Het apparaat is zo eenvoudig dat het een plaatsje kan vinden in de spreekkamer van de huisarts. Een gewaarschuwd mens telt voor twee, dus als het apparaat met de akelige boodschap komt dat er wel eens een hartinfarct kan komen, valt er met een andere leefwijze nog heel wat te doen. Maar in de toekomst zijn er zelfs nog betere mogelijkheden, want het Gaubius-instituut in Leiden werkt aan een methode om bij mensen met een verhoogd risico een ingebouwde beveiliging aan te brengen. Het betreft dan de toediening van een stof die de endotheelcellen van de bloedvaten aanzet tot een hogere productie van TPA.

De strijd tegen de grootste doodsoorzaak in Nederland en België en niet alleen daar, begint hoopgevende vormen aan te nemen. De inventiviteit van de onderzoekers kan, in combinatie met bepaalde leefregels die zo langzamerhand door de activiteiten van de Hartstichting wel bekend zijn, het aantal sterfgevallen aanzienlijk beperken. ■



De jaarproductie van deze fabriek past in twee aktentassen.
(Foto: Boehringer Ingelheim.)

Draadwormen

Bongers T. *De nematoden van Nederland*. Utrecht: Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, 1988. ISBN 90-5011-015-0. Prijs f 48,00, voor KNNV-leden f 31,00. Te bestellen door overmaking van de kosten op giro 13028 van Bureau KNNV te Hoogwoud.

De draadwormen of nematoden vormen één van de wonderlijkste groepen in het dierenrijk. Deze doorgaans uiterst kleine, doorzichtige dieren zijn vooral interessant vanwege de onvoorstelbare aantallen waarin ze voorkomen. Een kubieke meter grond bevat tussen de twee en twintig miljoen individuen, verdeeld over 30-60 soorten. De beestjes komen voor in warmwaterbronnen, in de diepzee, in flessen azijn, kortom overal waar je ze (niet) zoekt. De nematoloog Nathan Cobb schreef ooit: "Als alle materie van de aarde zou verdwijnen, behalve de nematoden, dan zou de aarde een holle bol zijn met een uit nematoden bestaande dunne wand. De contouren van bergen, bossen en dergelijke zouden herkenbaar zijn door een vlies van draadwormen."

Sommige soorten zijn uitgesproken schadelijk, omdat ze plantenziekten als aardappelmoeheid kunnen veroorzaken. Andere zijn voor de mens nuttig, omdat ze als indicator voor bodemverontreiniging kunnen dienen.

Wie deze diertjes wil bestuderen heeft een microscoop nodig, want één centimeter is het formaat dat alleen de grootste soorten bereiken. Erg sterk hoeft de microscoop niet te zijn, want veel kleiner dan 0,5 mm zijn ze nooit.

Gezien de soortenrijkdom kan de bestudering van een willekeurig bodemonster tot verwarring leiden. Wie zich daar toch aan wil wagen, heeft houvast aan 'De nematoden van Nederland' van de

Wageningse bioloog Tom Bongers. Hij heeft zijn encyclopedische kennis op dit gebied neergelegd in een determinatietafel van een kleine 400 pagina's. Bongers doet zichzelf met de titel tekort, daar ook de Belgische nematodenfauna verwerkt is. In de inleiding waarschuwt hij dat de tabel niet volledig is, maar dat valt hem niet kwalijk te nemen. Zelfs met de aangekondigde jaarlijkse supplementen zal het waarschijnlijk ondoenlijk zijn om alle 83 families volledig te beschrijven. Wie zich daardoor niet laat ontmoedigen en eens wil controleren of de claim van Cobb terecht is, begint bij het hoofdstuk 'Technieken', waarin beschreven wordt hoe je zelf, met huis-tuin-en-keuken-methoden een geschikt nematodenmonstertje kunt maken. Neem een pvc-buis met een diameter van acht centimeter en zaag daar 2 cm dikke ringen uit. Plak twee ringen op elkaar met daartussen een fijnmazig (0,10 mm) gaas. Zet deze constructie op een petrischaaltje (een gewoon schoeltje kan ook). Doe wat grond in het aldus geconstrueerde filter en giet er water in. Eén dag later zijn de nematoden in het doorgelopen water te bekijken. Wie geen fijnmazig gaas bezit, of op fijne kleigrond woont moet een kleenex-papiertje in de zeef leggen. Bij monsters zwaarder dan 10 gram verdient het aanbeveling deze eerst in een jampotje of pannetje met water te mengen, de zwaarste troep te laten bezinken en dan het water volgens bovenstaand recept filteren.

De determinatie is niet zo gemakkelijk als de isolatie. Dat komt in de eerste plaats omdat het enige oefening vergt om details aan deze beestjes te onderscheiden. Bongers doet echter wat tips aan de hand om een contrastrijker microscoopbeeld te krijgen.

De kern van het boek is de determinatietafel. Wie de 'officiële' tabel volgt, zal op nogal wat moeilijkheden stuiten, omdat daarin vrij veel moeilijk waar-

neembare kenmerken voorkomen. Dan moet je richeltjes tussen anus en vulva gaan tellen. Zijn het er in de buurt van de 21, dan heb je een andere soort te pakken dan wanneer het er slechts 12 zijn. Het boek bevat echter ook een tabel van meest algemene soorten en daarmee kom je een heel eind. Bovendien doet de doorzetter op die manier de routine op die nodig is om de systematische tabel te kunnen hanteren. Want het is wel even wennen en goed kijken, iets waarvoor de auteur overigens regelmatig het nodige begrip toont, al had hij mijns inziens niet mogen toestaan dat een aantal illustraties gebundeld werd, waardoor je soms ver moet bladeren om een plaatje bij de tekst te vinden.

'De nematoden van Nederland' is een werk voor liefhebbers en hobbyisten, die het geduld kunnen opbrengen om na het nodige geklieder naar lastig te onderscheiden wormjes te kijken. Wanneer je echter weet waar je op moet letten, valt er veel te zien. Op de wat onlogische plaats van sommig illustraties na is het een keurig verzorgde uitgave, die welbeschouwd tamelijk goedkoop is.

Huup Dassen

China

Tot 16 januari 1989 is in de Koninklijke Musea voor Kunst en Geschiedenis aan het Jubelpark in Brussel de tentoonstelling China, hemel en aarde te zien. Deze tentoonstelling toont aan dat heel wat dagelijkse technieken en tal van wetenschappelijke disciplines in China hun oorsprong vonden soms 5000 jaar geleden. Hoewel dit land niet de moderne wetenschap heeft voortgebracht, hielp het de grondslagen leggen van wat in Europa de nieuwe universele wetenschap zou worden.

Men kan zelfs stellen dat zonder enkele belangrijke Chinese uitvindingen de wetenschappelijke ommekeer tijdens de Renaissance pas veel later zou zijn begonnen. Hoe zou bijvoorbeeld het Westen zijn geëvolueerd zonder de uitvindingen van het papier en de boekdrukkunst?

In de tentoonstelling komt de essentiële bijdrage van de Chinese cultuur aan de wereldbeschaving in zeven grote onderdelen aan de orde: astronomie, de vier 'grote uitvindingen' (papier, boekdrukkunst, buskruit, kompas), brons- en ijzerbewerking, porseleinvervaardiging, zijdeproduktie, mechanica en uitwisseling van wetenschap en techniek tussen Oost en West.

Sommige tentoongestelde objecten uit Chinese musea worden hier voor het eerst in het buitenland getoond. Enkele fabricage-procédés worden gedemonstreerd door speciaal uit China overgevlogen vaklui.

De tentoonstelling is dagelijk (behalve maandag, 25 december en 1 januari) geopend van 10 tot 17 uur (woensdag tot 22 uur). De toegang is 180 F, voor groepen zijn reducties mogelijk. De Nederlandse en Belgische spoorwegen geven gecombineerde trein-metro-toegangs biljetten uit.

Voor inlichtingen: ☎ 02-7334647, vanuit Nederland: 09-3227334647.

er ook veel te zien over nieuwere ontwikkelingen in de lucht- en ruimtevaart.

Dat blijkt al als men bedenkt dat de grootste nieuwe aanwinst een Fokker Friendship is, een vliegtuig dat over de hele wereld nog volop in gebruik is. Maar ook één van de kleinste vliegtuigen ooit gebouwd is er te zien, de Belgische Tipsy Nipper, alsmede een paar ultralichte vliegtuigen.

De collectie is opgebouwd langs vijf thema's: de pionierstijd, de ontwikkeling van de militaire luchtvaart, de geschiedenis van de helikopter, de geschiedenis van de burgerluchtvaart en de historie van de ruimtevaart.

Het Aviodome is dagelijks geopend van 10 tot 17 uur. Tussen 1 november en 1 april sluit men op maandag. Schiphol is goed met de trein en met het vliegtuig te bereiken.

Voor inlichtingen: 020-173640, vanuit België: 00-3120173640.

Aviodome

Het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartmuseum, gevestigd in het Aviodome op Schiphol, heeft de afgelopen maanden kans gezien zijn collectie aanzienlijk uit te breiden. Maar liefst acht nieuwe vliegtuigen staan er opgesteld. Ook de opzet van het museum is vernieuwd. Lag eerst de nadruk op historische vliegtuigen, nu is



ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving
natuur en techniek

Spiegels voor NTT

De nieuwste telescoop van het European Southern Observatory, de Europese sterrenwacht op het zuidelijk halfrond op La Silla in Chili, heet kortweg NTT. De afkorting staat voor New Technology Telescope. De NTT is de eerste telescoop waarvan het ontwerp geheel is afgestemd op het computertijdsperk. Het frame is eenvoudiger en lichter gebouwd, maar niet slapper. Dat kon omdat de constructie voor het richten van de telescoop veel eenvoudiger is uitgevoerd. Door die nieuwe constructie is de telescoop moeilijk 'handmatig' te verstullen. De computersturing heeft er echter geen problemen mee. Een tweede mogelijkheid om lichter te bouwen is dat de grote primaire spiegel, met een diameter van 3,6 m, veel dunner is dan gebruikelijk. Telescoopspiegels moesten vroeger altijd dik zijn, omdat ze anders zouden vervormen wan-

neer ze van positie veranderd werden. De spiegel van de NTT is dun omdat hij mag doorzakken: vele steunpuntjes, met motortjes erin, worden computergestuurd van positie veranderd om de spiegel, hoe hij ook staat, zijn ideale positie terug te geven. Kortweg heet dat het systeem van *actieve optica*.

De spiegel is nu klaar. Hij is gemaakt door de wereldberoemde lenzenmaker Zeiss in de Bondsrepubliek Duitsland. Bij tests bleek dat de spiegel ruimschoots voldoet aan de eisen die vooraf waren gesteld door de opdrachtgever. Die eisen weken sterk af van de eisen die Zeiss bij de vervaardiging van eerdere telescopospiegels kreeg opgelegd. Het spiegeloppervlak moet over kleinere afstanden bijzonder weinig afwijkingen vertonen, dit heeft vooral effect op de reflectie van licht van hoge frequentie. De tolerantie

over grotere afstand is wat ruimer, omdat de actieve optica dan kan corrigeren. Het resultaat is een spiegel die invallend licht driemaal zo scherp bundelt als de door ingewijden al hooggewaardeerde spiegel van de 3,5-meter-telescoop van het Max-Planck-Institut für Astronomie.

De spiegel wordt eind van dit jaar in Chili in de inmiddels gereed gekomen behuizing voor de NTT gemonteerd. Begin volgend jaar moet de telescoop voor het eerst hemellicht vangen. In de loop van 1989 komt de telescoop voor routinegebruik door astronomen in gebruik.

(Persberichten ESO en Zeiss)

Tippen van chromosomen

Het genetische materiaal van de mens is verpakt in 46 chromosomen, die bevatten lange draden DNA in een enorm hoge dichtheid. De uiteinden van die draden – *telomeren* geheten – moeten een bijzondere structuur hebben, omdat bij de vermenigvuldiging van DNA kleine stukjes of *primers* als startpunt voor de synthese van nieuwe DNA-strengten dienen. De uiterste tippen vallen dan uit de boot. Er is dus een apart mechanisme nodig om te voorkomen dat de chromosomen bij iedere vermenigvuldigingscyclus zouden verkorten. Bovendien geven telomeren stabiliteit aan de chromosomen: ze verhinderen dat chromosomen met elkaar versmelten, of aan hun uiteinden spontaan afbrokkelen.

Een groep onderzoekers van het Los Alamos National Laboratory (Los Alamos, VS) onder leiding van dr Robert Moyzis rapporteert



De spiegel voor NTT met zijn diameter van 3,6 m kreeg haar nauwkeurig gepolijste oppervlak in de Zeissfabriek in Oberkochen met gebruikma-

king van nieuwe bewerkings- en meetapparatuur.
(Foto: Zeiss, Oberkochen, BRD)

in de *Proceedings of the National Academy of Sciences* dat de telomeren van menselijke chromosomen uit een herhaling van een volgorde van zes nucleotiden bestaan: TTAGGG.

Het is reeds enkele jaren bekend dat de telomeren van lagere organismen zoals *Tetrahymena* (trilhaardertjes) of *Trypanosomen* (micro-organismen die slaapziekte verwekken) zijn opgebouwd uit een herhaling van een korte DNA-sequentie, respectievelijk TTGGGG en TTAGGG. Sommige van dergelijke repetitieve DNA-volgorden vervullen een structurele functie in de chromosomal architectuur, niet alleen aan het uiteinde maar vermoedelijk ook in het midden, bij het centromeer van een chromosoom. De meerderheid van het repetitief DNA is vermoedelijk echter parasitair, zonder enige functie. Moyzis en collega's screenden een verzameling menselijk repetitief DNA met gelijkaardige sequenties van het DNA van een hamster. Van de zes geïsoleerde DNA-klonen bleken er twee te bestaan uit een herhaling van TTAGGG, precies dezelfde eenheid als de telomeren van *Trypanosomen*. Er werd aangetoond dat deze volgorde aan ieder uit-

einde van een chromosoom voorkomt, in eenvoudige reeksen van 500 tot 2000 kopieën.

Verder onderzoek wees uit dat de telomeren van de chromosomen van een ganse zoo van dieren die korte sequentie ook bevatten. Men vond ze bij primaten, lagere zoogdieren, vogels en reptielen. Deze evolutionaire conservatie is een bijkomend argument voor een functionele rol van de repetitieve TTAGGG-sequentie. In sommige organismen zoals de Chinese hamster werden grote blokken met herhaling van TTAGGG ook aangetroffen in het midden van het chromosoom. De auteurs speculeren dat deze blokken het resultaat zijn van historische fusies van twee telomeren, maar verder onderzoek is nodig.

Met deze kennis is het nu mogelijk kunstmatige menselijke chromosomen te maken. Voor gistcellen werd dat vorig jaar al gedaan, op basis van de centromeresequenties, telomeersequenties van *Tetrahymena* en van beginvolgorden voor de DNA-replicatie. Met deze *yeast artificial chromosome vectors* (YAC's) kunnen grote stukken DNA gekloond (vermenigvuldigd) worden. De kunstmatige chromosomen worden bij iedere celdeeling vermenig-

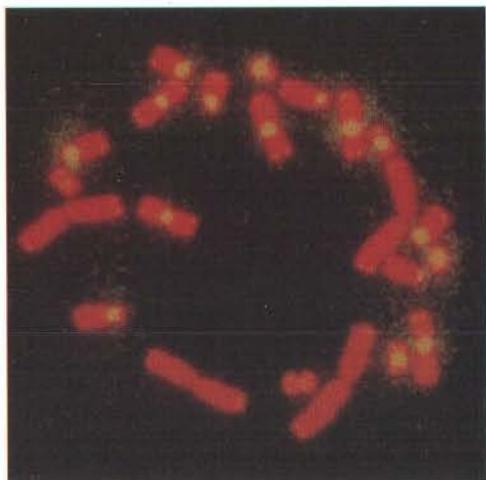
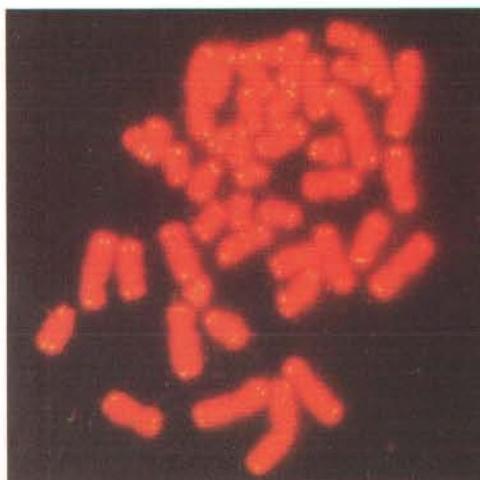
vuldigd, net als echte chromosomen.

Op korte termijn zullen deze menselijke telomerische volgorden het in kaart brengen van het menselijk genoom versnellen, indien tenminste de resultaten bevestigd kunnen worden. De TTAGGG-herhalingen kunnen dienen om de uiteinden van de chromosomen af te bakenen, een karwei dat geneticus thans heel wat hoofdpijn bezorgt.

Dr Peter Mombaerts
MIT, Cambridge, Mass., USA

De foto's laten overduidelijk zien waar TTAGGG-volgorden in de chromosomen voorkomen. Bij mens (links) en rat (rechts) alleen aan de uiteinden.

De kleuring werd gerealiseerd door een DNA-probe van de complementaire volgorde AATCCC met het DNA in de chromosomen te laten hybridiseren. Aan de DNA-probe was de stof biotine gebonden. Na hybridisatie is een complex van avidine en een fluorescerende stof toegevoegd. Avidine bindt aan biotine, zodat uiteindelijk de fluorescerende stof aan de DNA-probe zit. Licht van de juiste golflengte veroorzaakt duidelijke fluorescentie en verringt dus waar de DNA-probe in het chromosoom is gebonden. (Foto's: dr Robert Moysis, Los Alamos National Laboratory)



Nationale wetenschapsweek

Ruim vierduizend scholieren uit vierde klassen HAVO en VWO zullen tussen dinsdag 11 en vrijdag 14 oktober in Groningen een dag lang kennis maken met 'de wetenschap'. Op zaterdag 15 oktober is er aan de Rijksuniversiteit Groningen een open dag voor het grote publiek waar vele wetenschappers populair-wetenschappelijke lezingen over hun werk geven. Een dag later is de soms lange reis naar Groningen niet eens meer nodig: een dertigal musea en sterrenwachten, van Den Helder tot Heerlen, organiseren dan speciale wetenschapsdagen waarbij onderzoekers lezingen zullen houden over voorwerpen in het museum.

Al deze gebeurtenissen vormen samen de activiteiten van de Nationale Wetenschapsweek, die bedoeld is om scholieren en ouderen een beeld te geven van wat er in Nederland in de wetenschap omgaat en hoe de onderzoekers hun werk doen. Voor het eerst is er nu een dag met activiteiten door het hele land georganiseerd.

Het thema van de vier dagen voor scholieren is *water, lucht, aarde en vuur*. Ongeveer 2500 jaar geleden dachten sommige Griekse wijsgeren dat alle materie uit water, lucht, aarde en vuur was samengesteld. Het waren de vier elementen, zoals wij nu de talloze elementaire deeltjes beschouwen als bouwstenen van alles wat in het heelal bestaat.

Ieder van de vier dagen staat in het teken van één van de elementen. Daarbij is soms een invalshoek gekozen waar de oude Grieken waarschijnlijk nogal van geschrokken zouden zijn.

De waterdag staat in het teken van de biomedische wetenschappen. Al het leven speelt zich immers af in water, op het niveau van de cel gesproken dan. Ook landorganismen als de mens bestaan voor het overgrote deel uit water.

De tweede dag staat de lucht centraal. In lucht planten zich geluidstrillingen voort, daarom zijn er lezingen over duidelijke en onduidelijke taal en over verstoorde en verdraaide boodschappen. Daarnaast behandelt een Fokker-medewerker het supersonisch vliegen.

'Het zit in het zand en het tikt', is de titel van een lezing die op de derde dag, de aardedag gehouden wordt. Het verhaal gaat over de mogelijkheid om zeldzame, radioactieve zware elementen te winnen uit het strandzand aan de Hollandse kust. Ook archeologische onderwerpen en de sterrenkunde krijgen aandacht.

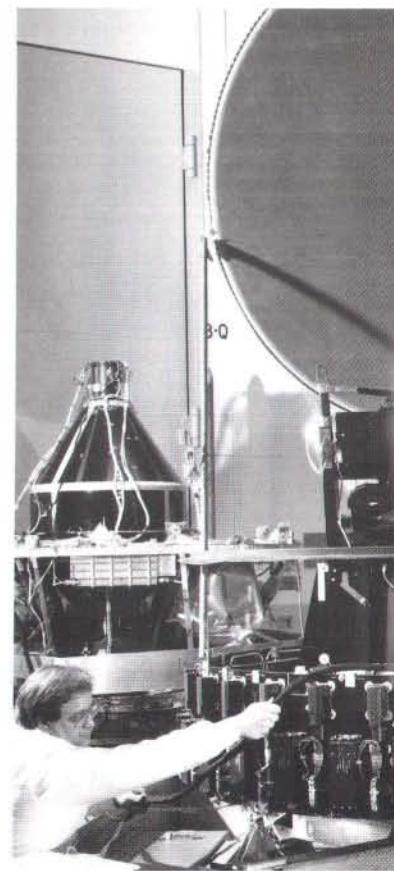
Vrijdag tenslotte staat het vuur centraal. Op het eerste gezicht is het wat vreemd dat dan de mensen maatschappijwetenschappen aan de orde komen. Wanneer echter lezingentitels als 'Het vuur van de ondernemer' en 'Het einde van de oorlog' opdoemen, wordt alles weer begrijpelijk.

Op de voor iedereen toegankelijke open dag op zaterdag 15 oktober staan negen onderwerpen centraal, waarover lezingen worden gehouden. Daarnaast zijn er tal van demonstraties. Deze publieksdag onder de titel 'Wetenschap aan het woord' is georganiseerd in samenwerking met de Stichting Publieksvoorziening Wetenschap en Techniek (PWT). De toegangsprijs is f 10,- en kaarten zijn te bestellen bij de Stichting PWT, Postbus 171, 3500 AD Utrecht. Zondag 16 oktober zijn in ieder geval alle volkssterrenwachten voor het publiek open, tot 11 uur 's avonds, want het wordt pas echt leuk als het donker is. Daarnaast zijn er vele musea met een aangepast programma. Het zijn er teveel om hier op te noemen, maar folders met het volledige programma liggen binnenkort bij openbare bibliotheken en VVV's. Daarin zit ook een bon waarmee gratis toegang wordt verkregen.

Terug van weggeweest

Eén van de ruimteveren van de NASA haalde in 1984 bij wijze van proef een niet-functionerende satelliet terug uit de ruimte. Het experiment werd uitgevoerd om te laten zien dat de ruimteveren niet alleen geschikt zijn voor het uitvoeren van onderhoud aan ruimtevaartuigen, maar dat ze ook terug naar de aarde kunnen worden gehaald.

Het gaat hier om de communicatiesatelliet Palapa-B2 die door het Amerikaanse Hughes Aircraft voor Indonesië werd gebouwd. Eenmaal gelanceerd heeft de satelliet nooit gefunctioneerd en zorgde er zo, met nog een aantal



missers in die jaren, voor dat de verzekeringspremies voor satellieten sneller omhoog schooten dan de raketten. De uitbetalende verzekeraarsmaatschappij heeft de NASA betaald voor de berging en de satelliet is uiteindelijk weer door Indonesië teruggekocht. Bij de oorspronkelijke producent Hughes Aircraft wordt hij nu opnieuw voor lansering gereed gemaakt. Waarschijnlijk zal dat in 1990 gebeuren, waarmee het de eerste satelliet is die voor de tweede maal wordt gelanceerd.

(Universal News Services)

De gereedde satelliet Palapa-B2 wordt getest en gereviseerd om onder de naam Palapa-B2R aan een nieuw ruimteleven te kunnen beginnen. (Foto: UNS)



Ruimte-afval op aarde

Misschien liggen de brokstukken inmiddels al hier en daar verspreid over het aardoppervlak, misschien ook nog niet, maar de 'terugkeer' van de Russische Kosmos 1900 toont opnieuw aan dat ruimte-afval een probleem vormt.

Sinds de lancering van het eerste ruimtevaartuig op 4 oktober 1957, een Russische Spoetnik, zijn er met meer dan 3000 lanceeringen zo'n 3600 satellieten in een baan rond de aarde gebracht. Volgens dr Walter Flury, hoofd van de Mission Analysis Section bij ESOC en secretaris van de Space Debris Working Group, zweven er inmiddels zo'n 70 000 door mensen in de ruimte gebrachte voorwerpen in een baan om de aarde, waarvan slechts enkele honderden werkende satellieten. Onder deze voorwerpen zijn uitgebrande derde trappen van lanceerraketten, maar ook kleine brokstukjes.

Deze fragmenten vormen een groot probleem. Eén brokje ter grootte van een erwten maar met een snelheid van $18\ 000\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, kan bij een botsing een satelliet van \$100 miljoen in één klap waardeloos maken. Dat deze kans niet theoretisch is, blijkt wel uit het feit dat uit de huid van een Apollo-capsule brokstukjes van raketsystemen werden geplukt. De bemanning van de Saljoet-7 ontdekte op een bepaald moment een 4 mm grote krater in een raam.

De Kosmos 1900 is een geval apart. De Russen lanceerden deze RORSAT (Radar Ocean Reconnaissance Satellite) op 12 december 1987 in een betrekkelijk lage baan op 270 km boven de aarde. De radar van deze spionagesatelliet wordt van energie voorzien door Topaz, een kernreactor met 50 kg uranium. Satellieten van dit type verbruiken zoveel energie dat zonnepanelen niet toereikend zijn en zo groot zouden moeten

zijn dat door de massa ervan de satelliet nog heviger door de aarde aangetrokken zou worden. Normalerwijze wordt aan het eind van de betrekkelijk korte levensduur van enkele maanden de reactor losgekoppeld en in een baan van 900 km geschoten, waar een verblijf van meer dan 300 jaar voldoende is om de meeste splittingsproducten te laten vervallen. Ook in het verleden kampten de Russen al met een reactor die niet los wilde komen van de satelliet. De Kosmos 954 strooide bijvoorbeeld zijn radioactieve brokstukken over een gebied van meer dan 100 000 km² bij het Great Slave Lake in het noordwesten van Canada. In 1983 viel de reactor van de Kosmos 1402 in de Indische Oceaan. Of het de Russen nu zal lukken om de kern los te koppelen en naar een hogere baan te schieten is onzeker, omdat het radiocontact met de satelliet verloren is gegaan.

De Federation of American Scientists (FAS) en het Committee of Soviet Scientists Against the Nuclear Threat hebben inmiddels een plan opgesteld dat toepassing van kernenergie in een baan rond de aarde verbiedt. Niet alleen worden hierdoor gevallen als met de Kosmos voorkomen, maar wordt ook een halt toegevoegd aan de nucleaire wapenrace in de ruimte. Wetenschappelijke missies en exploratie van het heelal komen hierdoor niet in gevaar, omdat die verder in de ruimte opereren.

Het plan zou de Russen dwingen hun spionagesatellieten van het type RORSAT van een andere energiebron te voorzien, terwijl ook het Amerikaanse SDI-project ernstig in gevaar zou komen. In ieder geval ziet het er naar uit dat de Russen voor het gezamenlijke plan van de Russische en Amerikaanse wetenschappers zouden voelen.

J.A.B. Verdijnen

Vragen?

De testvragen van deze maand hebben betrekking op het artikel over slangegif van dr Menez, te vinden op pag. 698-710. Deze vragen zijn opgesteld door drs A. Mast en drs C. Bouma, vakdidactici scheikunde aan de Vrije Universiteit te Amsterdam.

1. Waaruit kan men afleiden dat de meeste slangegiften uit mengsels bestaan?
2. Noem de vijf groepen toxinen die in slangegiften voorkomen en geef van elk aan waar ze precies op inwerken.
3. Leg uit waarom ongecontroleerde afscheiding van acetylcholine leidt tot verlammingsverschijnselen.
4. Welke drie fundamentele vragen kan men stellen ten aanzien van toxinen?
5. Geef voorbeelden van planten waarin toxinen voorkomen.
6. Schets hoe een receptor werkt.
7. Maak een schets van een actief centrum.
8. Wat zou er gebeuren indien van de vijf of zes functiebepalende aminozuren in het toxinemoleculuul één of meer de tegengestelde configuratie zou(den) vertonen?
9. Hoe wordt immunologische afweer opgebouwd?
10. Wat is het verschil tussen mono- en polyklonale antistoffen?

AMATEURONDERZOEK IN NATUUR & TECHNIEK

Veel lezers van Natuur & Techniek werken elke dag op een laboratorium, of zijn op een andere manier met onderzoek bezig. Anderen volgen een opleiding, zijn baanloos, of werken niet in 'het onderzoek'.

De redactie van Natuur & Techniek is benieuwd of de interesse in natuurwetenschappen en techniek, die de lezers van dit blad met elkaar delen, ook resulteert in eigen onderzoek. Wellicht trekt u al jaren iedere dag het veld in om broedvogels te inventariseren; misschien werkt u avond aan avond in uw laboratorium in de garage aan de synthese van de meest wonderlijke stoffen; wellicht bouwt u robots die de gordijnen sluiten als het donker is. De redactie wil graag eens zien hoe inventief de lezers van Natuur & Techniek zijn en wil dat ook aan de andere lezers tonen. Vanaf november zullen we daarom maandelijks één pagina aan een onderzoek van een lezer(es)

wijden. De redactie nodigt vrijelijk onderzoekers, oud en jong, daarom uit de opzet, uitvoering en resultaten van eigen onderzoek kort en bondig te beschrijven in maximaal 350 woorden. Maximaal drie afbeeldingen zijn als toelichting mogelijk, graag hebben we daarbij minimaal één foto.

Maandelijks kiest de redactie één van de inzendingen voor publicatie uit. Met de auteur(s) zal dan nog overleg over tekst en illustratie plaatsvinden. De beloning voor plaatsing is een jaarabonnement op Natuur & Techniek en een boek uit het fonds van Natuur & Techniek. Inzendingen die voor 1 oktober binnen zijn kunnen overwogen worden voor plaatsing in het novembernummer.

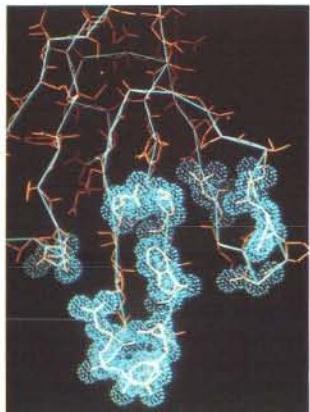
Stuur uw onderzoekverslag naar:
Natuur & Techniek
Eigen onderzoek
Postbus 415
6200 AK Maastricht



INGEZONDEN MEDEDELING

REIS NAAR CHINA

Belangstellenden voor de reizen die Natuur & Techniek in samenwerking met de Stichting M.B.-Excursies organiseert, maken wij nu reeds attent op een reis naar China, die in het decembernummer van Natuur & Techniek zal worden aangekondigd. De ervaring leert dat dergelijke reizen, waaraan een beperkt aantal mensen kan deelnemen, snel volgeboekt zijn. Over de reis naar China kunt u informatie krijgen bij Natuur & Techniek. Ook kunt u zich op een adspirant-deelnemerslijst laten plaatsen, het geen u voorrang verleent bij de inschrijving.



OPGAVEN &

PRIJSVRAAG

Prijsvraag

U heeft van ons nog de oplossingen uit het juni- en julinummer tegoed, plus de namen van de prijswinnaars.

Oplossing juni

Eerst de vraag herhaald, het is al zo lang geleden: aan de hoekpunten van een kubus worden gehele getallen toegevoegd. Twee getallen heten naburig als ze zijn toegevoegd aan de eindpunten van dezelfde ribbe. Kies de getallen zo, dat elk getal gelijk is aan de som van de drie naburige. Geef een overzicht van alle mogelijkheden. Dit was de vooroefening, de hoofdmoot was: doe hetzelfde voor een regelmatig twaalfvlak. Beide vragen kennen in principe dezelfde methodiek van opllossen. Ken letters toe aan de hoekpunten van de ruimtelijke figuren en stel de vergelijkingen op. Voor de kubus verschijnen dan acht vergelijkingen, het twaalfvlak kent twintig hoekpunten en er volgen dus twintig vergelijkingen.

De vergelijkingen zijn niet onafhankelijk van elkaar. Bij de kubus kunnen drie willekeurig naast elkaar gelegen hoekpunten vrij van waarden worden voorzien. De waarden van de andere hoekpunten volgen daaruit, waarbij hoekpunten die door de diagonaal door de kubus met elkaar verbonden zijn elkaar tegengesteld blijken. Bij het twaalfvlak zijn vijf hoekpunten vrij te kiezen. Die moeten aan elkaar grenzen, maar natuurlijk op een onverakte wijze. Als een vierribige slang liggen die vijf punten dus op het twaalfvlak.

De meeste oplossers kwamen er wel uit, maar toegegeven, het vergde enig rekenwerk. Aan inzenders die alleen de kubus oplost werden twee punten voor de ladder toegekend. Volledig goede oplossingen kregen als gebruikelijk zes punten voor de laddercompetitie. Na loting ging een boek uit de Wetenschappelij-

ke Bibliotheek, voor een goede oplossing, naar T. van Manen uit Dodewaard. Bovenaan de ladder verscheen J.M. Schouten uit Utrecht met 60 punten. Een gratis jaabonnement op Natuur en Techniek is zijn deel.

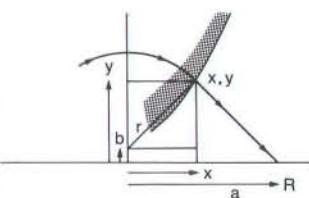
Oplossing juli

Gevraagd werd naar drie mogelijke vormen van een magneetveld dat er voor moet zorgen dat ionen van P naar R kwamen, zoals getekend.

De oplossing gaat uit van het gegeven dat in het magneetveld de baan van de elektronen cirkelvormig is:

$$q.v.B = \frac{mv^2}{r}$$

Alle ionen beschrijven een baan met dezelfde straal, maar niet met hetzelfde middelpunt. Buiten het magneetveld gaan de ionen gewoon rechtsgaand. Wanneer ze het veld in of uit gaan, gebeurt dat in een richting loodrecht op de straal van de cirkel die ze in het veld beschrijven.



Stel nu dat een ion het magneetveld in een punt (x, y) verlaat. Uit de gelijkvormigheid van driehoeken volgt dan:

$$\frac{y-b}{x} = \frac{a-x}{y}$$

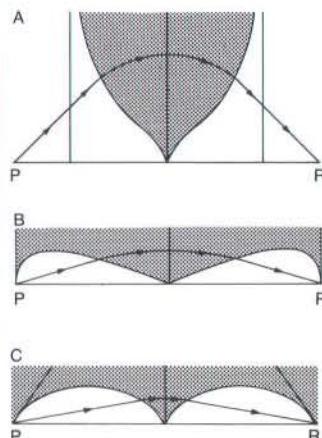
Voor de cirkelbaan geldt:

$$x^2 + (y-b)^2 = r^2$$

Waaruit volgt:

$$y = \frac{x(a-x)}{y-b} = \frac{x(a-x)}{\sqrt{r^2-x^2}}$$

Nu volgen er drie verschillende mogelijkheden bij $r < a$, $r = a$ en $r > a$. Achtereenvolgens geschat in afbeeldingen A, B en C. In A en B komen alle ionen met een snelheidscOMPONENT in de richting van R uiteindelijk in dat punt aan. Bij C alleen de ionen die binnen een bepaalde hoek worden gelanceerd.



Veel oplossingen waren er niet op deze vraag. Na loting gaat de maandprijs naar L.H. van den Raadt uit Edam. Bovenaan de ladder verscheen Kris Thielemans uit Lennik (B).

OPGAVEN &

PRIJSVRAAG

Prijsvraag

Een scheikundeopgave uit Platland, ons echter beschikbaar gesteld door de organisatie van de Nederlandse Chemie Olympiade. Het periodiek systeem der elementen in onze driedimensionale wereld is gebaseerd op de vier quantumgetallen voor de elektronen:

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$l = 0, 1, \dots, n-1$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm l$$

$$s = \pm \frac{1}{2}$$

Stel je voor dat je in Platland bent. Dat is een tweedimensionale wereld waarin het periodiek systeem der elementen is gebaseerd op drie quantumgetallen voor de elektronen:

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm (n-1)$$

$$s = \pm \frac{1}{2}$$

De m speelt hier de rol van l en m uit de driedimensionale wereld.

De s-, p- en d-niveaus worden dus door deze m bepaald. De vragen hebben betrekking op dit tweedimensionale Platland, waarin de ervaring uit onze driedimensionale wereld geldig is.

Teken de eerste vier perioden van het Platlands Periodiek Systeem der Elementen. Nummer de elementen volgens hun kernladings. Gebruik deze nummers ook als symbool. Geef bij ieder element de elektronenconfiguratie.

Elk Platlands element heeft minstens één overeenkomstig element in onze driedimensionale wereld. Geef de chemische symbolen van deze elementen.

Inzendingen moeten voor 15 oktober op de redactie zijn.

Adres:

Natuur & Techniek

Prijsvraag

Postbus 415

6200 AK Maastricht

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-254044*

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:

R. van Eck: tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 105,- of 2025 F. (per 1-1-'88)

Prijs voor studenten: f 80,- of 1550 F. (per 1-1-'88)

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 10,00 of 200 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari óf per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementssjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDSDAARSTEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

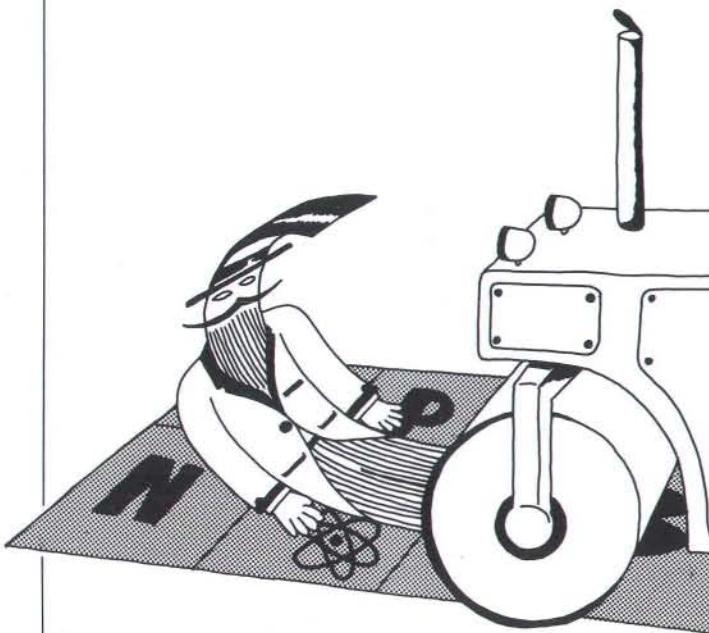
Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

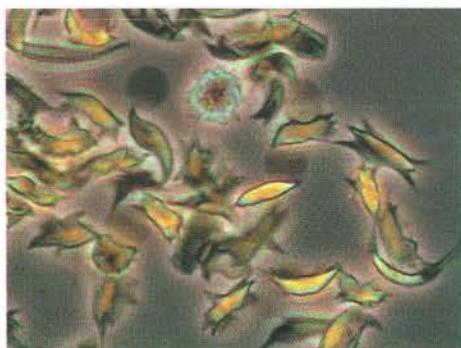
Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.



VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

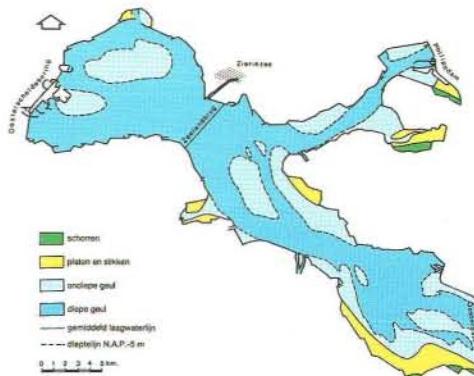
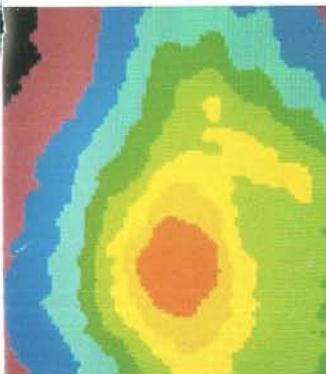
Sterrenlevens

Geen biografie van wetenschappelijke sterren, maar de levensloop van de echte sterren. Ook sterren blijken geboren te worden, een jeugd door te maken, volwassen te worden, af te takelen en te sterven. Dr P. Wesselius beschrijft de levenscyclus van deze hemellichamen.



Oosterschelde

Een aantal jaren geleden werd de Oosterscheldedam in gebruik genomen. Daarmee is het Deltagebied nog niet tot rust gekomen. Dr J. Dronkers, dr L.H.M. Kohsieck en drs J.P.M. Mulder beschrijven de invloed die de aangelegde 'kunstwerken' op de bodem van de Oosterschelde hebben.



Gifstoffen

Dat er giftige stoffen in ons leefmilieu voorkomen, is geen verrassing. De uitwerking van die stoffen is echter niet altijd goed bekend. Dr J.H.J. Copius Peereboom-Stegeman en dr J.W. Copius Peereboom geven een overzicht van stoffen die de voortplanting kunnen beïnvloeden.



Ethic

De vorderingen van de medische technieken maken het mogelijk vrouwen te steriliseren of juist vruchtbaar te maken, al naar gelang wat de vrouw in kwestie wil. Prof dr H.M. Kuitert gaat in op de vraag of alles wat kan ook mag. Daarbij stoot hij door tot de kern van medisch handelen.



Katten

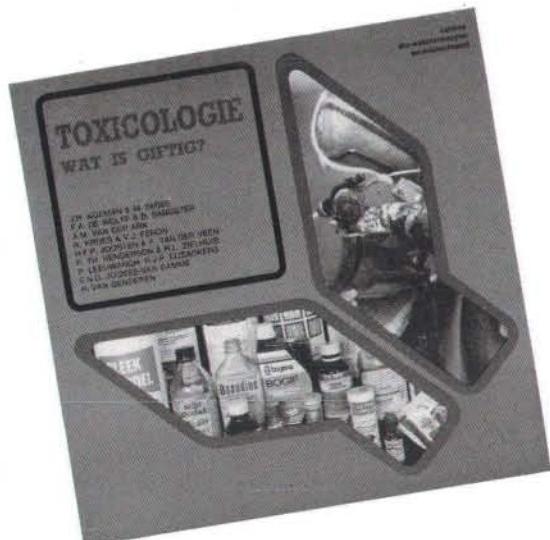
Het lijkt ingewikkeld, maar het is eenvoudig: een genetische analyse van de kat. Dr A. Lloyd geeft een recept dat zelfs bij rennende kat-

ten bruikbaar is. Ook gaat hij in op kittenpopulaties in de Nieuwe Wereld en komt dan tot een aantal verrassende conclusies.

Toxicologie Wat is giftig?

Tegenwoordig levert de chemische industrie meer dan 45 000 verschillende produkten, zoals kunststoffen, gewasbescheringsmiddelen, kunstmest, geneesmiddelen, geur- en smaakstoffen. Men spreekt in dat verband wel van de chemicalisering van de maatschappij. De beschikbaarheid van allerlei stoffen die economisch nuttig zijn en/of het leven veraangenamen, heeft een keerzijde. Kunnen die stoffen de gezondheid schaden als je ermee in aanraking komt? In hoeverre zijn ze giftig? In principe is iedere stof boven een bepaalde dosis giftig. Kennis over de werking van giftige stoffen wordt vergaard door toxicologen. Het werkgebied van deze onderzoekers is zeer breed, het omvat zowel de invloed van giftige stoffen op cellen en organen, alsook de effecten ervan op complete ecosystemen. Al deze aspecten komen in dit cahier aan de orde.

Zojuist
verschenen



Inhoud

Wat is giftig?

J.H. Koeman en M. Smies

Vergiftigingen

F.A. de Wolff en B. Sangster

Het gerechtelijk laboratorium

A.M. van der Ark

Voeding

R. Kroes en V.J. Feron

Geneesmiddelen

H.F.P. Joosten en F. van der Veen

Arbeid

P.Th. Henderson en R.L. Zielhuis

Milieu

P. Leeuwangh, H.P.J. Eijsackers en E.N.G. Joosse-van Damme

Slotbeschouwing

H. van Genderen

Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 4 van de 12e jaargang.
Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 25,00 of 485 F. Losse nummers f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek – Informatiecentrum – Op de Thermen – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht – Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-43254044.